

GESTIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN
EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE

JAIR ALBERTO OCAMPO MALAGON
FERNANDO CARVAJAL ROJAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI

2009

GESTIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN
EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE

JAIR ALBERTO OCAMPO MALAGÓN
FERNANDO CARVAJAL ROJAS

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Electricista

Director

Enrique Ciro Quispe Oqueña, IE.

Asesor

Carlos Alberto Borrero Murillo IE.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI

2009

Nota de aceptación

Trabajo de grado aprobado por el comité de grados, en el cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Electricista

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago Cali, 18 de Noviembre de 2009

Agradecimiento

Un cordial agradecimiento a mis padres y a mi hermana que me brindaron su apoyo incondicional en todos estos años logrando concluir con mis estudios.

Igualmente un gran agradecimiento para los ingenieros

- Rosaura Castrillon.
- Enrique Ciro Quispe Oqueña.
- Carlos Borrero.

Gracias a ustedes e logrado ampliar mis conocimiento en análisis eficiente de la energía y e logrado culminar una etapa muy importante en mi vida.

CORDIALMENTE

JAIR ALBERTO OCAMPO M.

Santiago Cali, 18 de Noviembre de 2009

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	12
2. OBJETIVOS.	13
2.1 Objetivo general.	13
2.2 Objetivos específicos.	13
3. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN.	14
3.1 EFICIENCIA.	15
3.2 PÉRDIDAS EN MOTORES ELÉCTRICOS.	16
3.2.1 Pérdidas en los conductores.	16
3.2.1.1 Pérdidas en los conductores del estator.	16
3.2.1.2 Pérdidas en los conductores del rotor.	17
3.2.2 Pérdidas en el núcleo magnético.	18
3.2.2.1 Pérdidas por histéresis.	18
3.2.2.2 Pérdidas por corrientes de Eddy.	19
3.2.3 Pérdidas por fricción y ventilación.	19
3.2.4 Pérdidas adicionales en carga.	20
3.3 FACTOR DE POTENCIA, RELACIÓN ENTRE TENSIÓN, CORRIENTE Y LOS EFECTOS QUE OCASIONAN EN EL MOTOR.	21
3.4 DEPENDENCIA DEL FP Y LA EF RESPECTO A LA CARGA.	21
3.4.1 Carga vs. Eficiencia.	21
3.4.2 Carga vs. Factor de potencia.	23
4. GESTIÓN DE MOTORES.	25
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE MAYOR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	25

4.2 IDENTIFICACIÓN DE MOTORES ASOCIADOS A PROCESOS DE MAYOR CONSUMO ELÉCTRICO.	25
4.3 REGISTRO DE DATOS BÁSICOS DEL MOTOR.	26
4.4 EVALUACIÓN DE LA POTENCIA EQUIVALENTE DEL MOTOR EN OPERACIÓN.	26
4.5 EVALUACIÓN DE LA CORRIENTE EQUIVALENTE DEL MOTOR EN OPERACIÓN.	27
4.6 EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DEL MOTOR EN OPERACIÓN.	28
4.6.1 Método de datos de placa.	28
4.6.2 Método de separación de pérdidas.	29
4.7 EFECTO DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.	33
4.8 EFECTO DE LOS ARMÓNICOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE.	34
4.9 IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO EN LA UAO	36
4.10 DIAGRAMA DE FLUJO.	37
5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LA UAO.	38
5.1 EQUIPOS DE MEDICIÓN.	38
5.1.1 Analizador de calidad de la energía fluke 434.	38
5.1.1.1 Características de funcionamiento.	39
5.1.2 Analizador de calidad de la energía HT PQA 824.	40
5.1.2.1 Introducción.	40
5.1.2.2 Funcionalidad del instrumento.	40
5.2 MEDICIONES POR CENTRO DE CONSUMO.	41
5.3 MEDICIÓN DE CONSUMO POR SUBESTACIONES.	42
5.4 MEDICIÓN DE CONSUMO POR ÁREAS.	43
5.4.1 Análisis subestación 2	43
5.4.2 Análisis subestación 1	44
5.5 IDENTIFICACIÓN DE MOTORES DE MAYOR CONSUMO.	45
5.5.1 Diagrama de Pareto	45
5.6 DATOS BÁSICOS DE LOS MOTORES DE MAYOR CONSUMO.	46
5.7 CALCULO DE LA POTENCIA EQUIVALENTE Y CORRIENTE EQUIVALENTE PARA LA BOMBA LÍDER 7.5HP.	47

5.7.1	Calculo de la potencia equivalente para la bomba líder 7.5HP.	50
5.7.2	Calculo de la corriente equivalente para la bomba líder 7.5HP	52
5.8	CALCULO DE POTENCIA EQUIVALENTE Y CORRIENTE EQUIVALENTE PARA LA BOMBA DE APOYO 20HP.	54
5.8.1	Calculo de la potencia equivalente para la bomba de apoyo 20HP	55
5.8.2	Calculo de la corriente equivalente para la bomba de apoyo 20HP	58
5.9	MÉTODO DE SEPARACIÓN DE PÉRDIDAS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA EN LOS MOTORES DE MAYOR CONSUMO.	60
5.9.1	Método de separación de pérdidas para la bomba líder de 7.5HP.	60
5.9.2	Método de separación de pérdidas para la bomba de apoyo de 20HP.	63
6.	RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE MOTORES	67
6.1	SELECCIÓN DEL NUEVO MOTOR DE APOYO	67
6.2	ANÁLISIS ECONÓMICO	69
7.	CONCLUSIONES	75
8.	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA	78
	ANEXOS	80

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Consumo de Energía por Motores de Inducción hasta 300 KW.	15
Cuadro 2. Eficiencias de un motor evaluadas por diferentes estándares [12] IEEE 112 de 2004.	28
Cuadro 3. Eficiencias de un motor evaluadas por NEMA MG1.	32
Cuadro 4. Consumo de potencia por subestación en un periodo de 24 horas	42
Cuadro 5. Consumo de potencia en la subestación 2	44
Cuadro 6. Consumo de potencia en la subestación 1	44
Cuadro 7. Porcentajes de consumo para graficar el diagrama de Pareto	45
Cuadro 8. Datos básicos de los motores existentes para realizar control de calidad	47
Cuadro 9. Intervalo máximo de datos tomado para la medición de la bomba líder.	49
Cuadro 10. Intervalo máximo de datos tomado para la medición de la bomba de apoyo.	54
Cuadro 11. Características del nuevo motor de apoyo	68
Cuadro 12. Comparación económica del motor actual vs. Motor nuevo	69
Cuadro 13. Análisis de ahorro de energía para el motor de 10HP	70
Cuadro 14. Datos básicos de los motores para realizar control de Calidad.	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Oportunidades de Ahorro de Energía en los sistemas de Accionamiento.	11
Figura 2. Variación de las Pérdidas en función de la carga.	20
Figura 3. Variación de la eficiencia en función de la carga.	21
Figura 4. Variación del factor de potencia en función de la carga.	23
Figura 5. Diagrama energético de un motor.	29
Figura 6. Consumo de potencia por subestaciones.	43
Figura 7. Diagrama de Pareto.	46
Figura 8. Medición de potencia activa en bomba líder (7.5HP).	48
Figura 9. Intervalo máximo tomado en la bomba líder para el proceso de hallar la potencia equivalente.	50
Figura 10. Intervalo máximo tomado en la bomba líder para el proceso de hallar la corriente equivalente.	52
Figura 11. Medición de potencia activa en bomba de apoyo (20HP).	55
Figura 12. Intervalo máximo tomado en la bomba de apoyo para el proceso de hallar la potencia equivalente.	55
Figura 13. Intervalo máximo tomado en la bomba de apoyo para el proceso de hallar la corriente equivalente.	57
Figura 14. Análisis económico realizado para el motor de 10 HP.	71

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Medición inicial y final subestación 1.	80
Anexo B. Medición inicial y final subestación 2.	82
Anexo C. Medición inicial y final subestación 3.	84
Anexo D. Medición bomba líder.	86
Anexo E. Medición bomba de apoyo.	87
Anexo F. Medición bomba lapicero.	88
Anexo G. Medición bomba 1 (2.5hp) sótano biblioteca ala sur.	89
Anexo H. Medición bomba 2 (2.5hp) sótano biblioteca ala sur.	90
Anexo I. Medición bomba 3 (2 hp) sótano laboratorio ala norte.	91
Anexo J. Medición bomba 4 (2 hp) sótano aulas 1.	92
Anexo K. Características básicas del analizador de calidad fluke 434.	93
Anexo L. Formato de datos básicos para mantenimiento en maquinas.	96

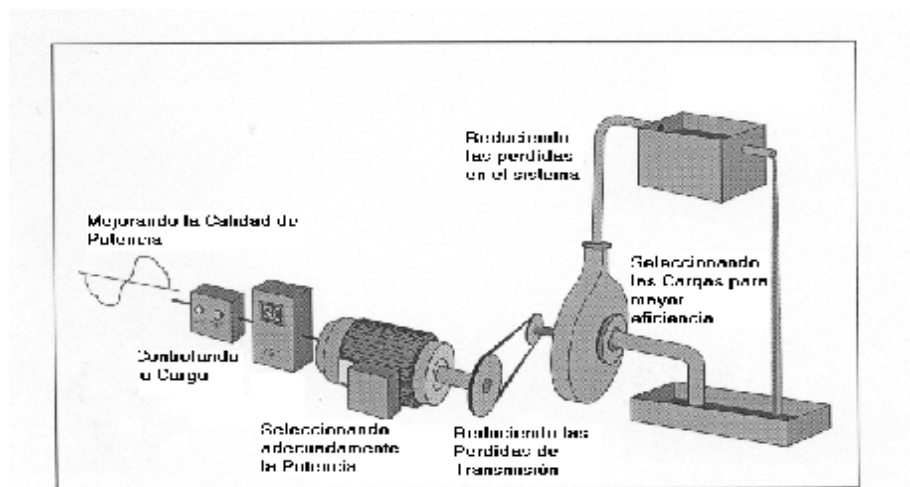
INTRODUCCIÓN

Un motor eléctrico debe estar sometido a un mantenimiento constante, de lo contrario existirán una cantidad de factores que lo pueden deteriorar y reducir su eficiencia.

Antes se consideraban que los motores eléctricos podían operar correctamente solo con una correcta conexión y se olvidaban de su mantenimiento, en la actualidad hay muchas formas y herramientas para llevar a cabo funciones avanzadas de control, coordinación y diagnóstico, así como de gestión del mantenimiento.

La industria obliga a encontrar métodos que ayudan a manejar estos motores de una manera mas eficiente, este proyecto lo que busca es mostrar algunos de esos métodos con el fin de despertar académicamente, el interés por el ahorro de energía para una aplicación futura en la industria como lo muestra la figura 1.

Figura 1. Oportunidades de Ahorro de Energía en los sistemas de Accionamiento



FUENTE: métodos para ahorrar energía en el uso de motores eléctricos en la industria – curso tutorial – Grupo de Investigación en Energías (GIEN) Enrique Ciro Quispe Oqueña Ingeniero Electricista, I.E., M.Sc.E.E.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad Autónoma de Occidente es una institución educativa que tiene a su servicio una gran cantidad de motores eléctricos. Se estima que aproximadamente el 50 % de la energía consumida, es usada en la operación de estos motores. Por lo tanto la eficiencia en la operación de los motores eléctricos, es un parámetro importante en el uso eficiente de la energía eléctrica y la reducción de los costos de operación.

La gestión energética de motores eléctricos incluye todas las acciones para lograr el uso eficiente de los motores eléctricos, la gestión energética constituye un área nueva de trabajo de la ingeniería.

En este proyecto se analizará el estado energético de los motores eléctricos de la Universidad Autónoma de Occidente y se les aplicará las herramientas de gestión energética.

Este proyecto busca responder las preguntas: ¿Se están usando eficientemente los motores eléctricos en la Universidad?, ¿Es posible reducir el consumo de energía eléctrica en la operación de los motores eléctricos?, ¿Que acciones se deben tomar para que se aumente la eficiencia en la operación de los motores eléctricos?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Analizar el funcionamiento energético de los motores eléctricos de mayor incidencia en el consumo de energía eléctrica, para evaluar la eficiencia actual de operación y proponer medidas de gestión energética que permitan mejorar la eficiencia de operación de estos motores.

2.2. Objetivos específicos:

- § Actualizar alguna información eléctrica en la base de datos de los motores, aprovechando el estudio realizado.
- § Auditar el funcionamiento actual de los motores, determinando el grupo de motores de mayor consumo energético.
- § Determinar la cargabilidad y la eficiencia de operación del grupo de motores de mayor consumo energético.
- § Recomendar con base en el estudio realizado, los pasos a seguir para obtener beneficios económicos y técnicos para la Universidad.

3. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN

Los motores eléctricos son los mayores usuarios de energía eléctrica en las plantas industriales y sectores comerciales. En los países industrializados los estudios muestran que aproximadamente el 55% de la energía total generada la consumen los motores eléctricos, y que en el sector industrial y comercial los motores eléctricos consumen aproximadamente el 75% de la energía eléctrica utilizada. Este hecho aunado al constante incremento de los costos de la energía eléctrica y las restricciones establecidas sobre la conservación del medio ambiente, hicieron que en los países industrializados como USA y otros países europeos se dictarán políticas y se aprobarán legislaciones respecto al uso de la energía ¹.

Por otro lado siendo el motor eléctrico más usado en la industria el motor de inducción tipo jaula de ardilla, surgió entre las medidas más prometedoras para el ahorro de energía, establecer metodologías que posibiliten el uso eficiente de la energía en la aplicación de este tipo de motores eléctricos. El cuadro 1 muestra como se reparte el consumo de energía de los motores de inducción para diferente tipo de cargas.

¹ QUISPE, Ciro Enrique. Curso tutorial Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos, XII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines. Perú, Octubre 2005.

Cuadro 1. Consumo de Energía por Motores de Inducción hasta 300 KW.

Tipo de carga	Porcentaje de Energía
Bombas	32%
Ventiladores	23%
Bandas transportadoras y procesos	15%
Compresores diversos (no de aire)	14%
Compresores de aire	8%
Otros tipos de carga	8%

FUENTE: Métodos para ahorrar energía en el uso de motores eléctricos en la industria – curso tutorial – Grupo de Investigación en Energías (GIEN) Enrique Ciro Quispe Oqueña Ingeniero Electricista, I.E., M.Sc.E.E.

3.1 EFICIENCIA

La eficiencia es la razón entre la potencia de salida a la potencia de entrada. La potencia de salida es igual a la potencia de entrada cuando las pérdidas son cero. Por tanto, si dos de las tres variables (salida, entrada o perdidas) son conocidas, la eficiencia puede ser:

$$EFICIENCIA = \frac{P.salida}{P.entrada} \times 100 \quad (1)$$

$$EFICIENCIA = \frac{P.salida}{P.salida + Perdidas} \times 100 \quad (2)$$

La realización de estudios de eficiencia energética, priorizan estimar la eficiencia y la potencia de operación de los motores eléctricos con la finalidad de implementar medidas que permitan una operación más eficiente, ya sea reemplazando el motor por uno nuevo o instalándole un accionamiento de control adecuado.

Históricamente en el ámbito del funcionamiento industrial, las mejoras en el uso eficiente de la energía En la operación de motores eléctricos, han sido importantes, principalmente, por razones económicas. Sin embargo, estos

adelantos han involucrado una dimensión del medio ambiente, en el compromiso de reducir las emisiones de gases de invernadero.

3.2 PÉRDIDAS EN MOTORES ELÉCTRICOS

Las pérdidas que se pueden separar en los motores de inducción se clasifican como sigue:

- § Pérdidas $I^2 R$ en el estator
- § Pérdidas $I^2 R$ en el rotor
- § Pérdidas en el hierro.
- § Pérdidas por fricción y ventilación.
- § Pérdidas adicionales en cargas

3.2.1 Pérdidas en los conductores

Las pérdidas en los conductores se dividen en dos zonas: estator ($I^2 R$ en las bobinas del estator) y rotor ($I^2 R$ en los bobinados del rotor).

Estas pérdidas dependen del cuadrado de la corriente. Factor de potencia. Adicionalmente las pérdidas en los conductores del estator dependen de la resistencia del bobinado. Para un motor dado la resistencia del bobinado es inversamente proporcional al peso del bobinado del estator, es decir a mas material conductor en el estator menos pérdidas.

3.2.1.1 Pérdidas en los conductores del estator

Estas pérdidas son una función de la corriente que fluye en el devanado del estator y la resistencia de ese devanado. Son mínimas en vacío y se incrementan al aumentar la carga. En función del factor de potencia (FP), la

Corriente de línea en el estator puede expresarse

Como:

$$IL = \frac{POTENCIAELECTRICADEENTRADA}{\sqrt{3} \times VOLTAJEDELINEA \times FP} \quad (3)$$

Cuando se desea mejorar el comportamiento del motor, es importante reconocer la interdependencia entre la eficiencia (EF) y el factor de potencia (FP). Si se despeja el factor de potencia la ecuación se reescribe:

$$FP = \frac{POTENCIAELECTRICADEENTRADA}{\sqrt{3} \times VOLTAJEDELINEA \times IL \times EF} \quad (4)$$

Por lo tanto si se incrementa la eficiencia, el factor de potencia tendrá a decrecer. Para que el factor de potencia permanezca constante, la corriente del estator debe reducirse en proporción al aumento de la eficiencia. Si se pretende que el factor de potencia mejore, entonces la corriente debe disminuir más que lo que la eficiencia aumente.

Desde el punto de vista del diseño, esto es difícil de lograr debido a que hay que cumplir otras restricciones operacionales como el momento máximo.

Por otra parte la corriente de línea se puede expresar:

$$IL = \frac{POTENCIAELECTRICADEENTRADA}{\sqrt{3} \times VOLTAJEDELINEA \times EF \times FP} \quad (5)$$

La expresión hace evidente que las pérdidas en el estator ($I^2 \cdot R$) serán inversamente proporcionales al cuadrado de la eficiencia y del factor de potencia. Adicionalmente las pérdidas en los conductores del estator dependen de la resistencia del bobinado.

Para un motor dado la resistencia del bobinado es inversamente proporcional al peso del bobinado del estator, es decir a mas material conductor en el estator menos pérdidas.

3.2.1.2 Pérdidas en los conductores del rotor

Son directamente proporcionales a la resistencia del bobinado rotórico, dependen del cuadrado de la corriente que circula en el bobinado rotórico (Barras y anillos) y

dependen del flujo magnético que atraviesa el entrehierro. Son prácticamente cero en vacío y se incrementan con el cuadrado de la corriente en el rotor y también se incrementan con la temperatura.

Las pérdidas en el rotor se pueden expresar en función del deslizamiento:

$$\text{PERDIDAS EN EL ROTOR} = \frac{(PMS + PERDIDAS(F)Y(V))}{1 - S} * S \quad (6)$$

Donde

PMS. : Potencia Mecánica de Salida

F y V: Fricción y Ventilación

S: Deslizamiento

3.2.2 Pérdidas en el núcleo magnético

Estas pérdidas tienen dos componentes, las pérdidas por corrientes de Eddy y las pérdidas por el fenómeno de histéresis, incluyendo las pérdidas superficiales en la estructura magnética del motor.

Las pérdidas en el núcleo del rotor debido al flujo magnético principal, son virtualmente cero.

3.2.2.1 Pérdidas por histéresis

Son causadas debido a la propiedad de remanencia que tienen los materiales magnéticos al ser excitados por un flujo magnético en una dirección. Como el flujo de excitación está cambiando de dirección en el núcleo magnético, a remanencia hace que se forme el ciclo de histéresis, cuya área esta relacionada por la energía gastada en magnetizar y desmagnetizar el núcleo continuamente. Estas pérdidas dependen del flujo máximo de excitación, de la frecuencia de variación del flujo y de la característica del material que determina el ancho del ciclo de histéresis.

3.2.2.2 Pérdidas por corrientes de Eddy

Son causadas por las corrientes inducidas o corrientes de Eddy que circulan en las laminas magnéticas del núcleo estático las que son inducidas por el flujo magnético giratorio estático.

En efecto de acuerdo a la ley de Faraday el campo magnético variable en el tiempo crea campos eléctricos de trayectoria cerrada en el núcleo magnético y como el acero es un material conductor estos campos hacen circular corrientes (corrientes de Eddy) a través de su trayectoria cerrada, por esta razón el núcleo magnético se hace de láminas magnéticas. Por lo tanto estas pérdidas dependen del flujo magnético máximo, de la frecuencia de variación del flujo magnético y de la resistividad del acero magnético.

3.2.3 Pérdidas por fricción y ventilación

Las pérdidas por fricción y ventilación son debidas a la fricción en los rodamientos y a las Pérdidas por resistencia del aire al giro del ventilador y de otros elementos rotativos del Motor.

La fricción en los rodamientos es una función de las dimensiones de este, de la velocidad, del tipo de rodamiento, de la carga y de la lubricación usada. Estas pérdidas quedan relativamente fijadas para un tipo de diseño, y debido a que constituyen un porcentaje pequeño de las pérdidas totales del motor, los cambios que se pueden hacer en el diseño para reducirlas no afectan significativamente la eficiencia del motor.

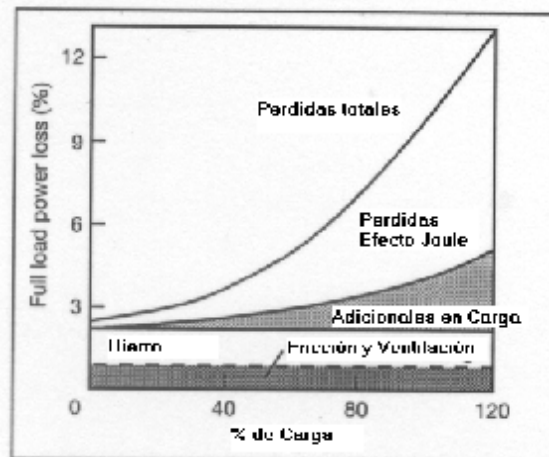
3.2.4 Pérdidas adicionales en carga

Son pérdidas residuales difíciles de determinar por medio de mediciones directas o de cálculos. Estas pérdidas están relacionadas con la carga y generalmente se suponen que varían con el cuadrado del momento de salida.

La naturaleza de estas pérdidas es muy compleja, están en función de muchos factores de diseño y de fabricación del motor como se puede observar en la figura 2.

Algunos de los elementos que influyen en estas pérdidas son: el diseño del devanado, la relación entre la magnitud del entrehierro y la abertura de las ranuras; la relación entre el número de las ranuras del estator y del rotor, la inducción en el entrehierro; las condiciones en la superficie del rotor, el tipo de contacto superficial entre las barras y las laminaciones del rotor.

Figura 2. Variación de las Pérdidas en función de la carga



FUENTE: QUISPE Ciro Enrique; Curso tutorial “Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos” XII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines, Perú, Octubre 2005

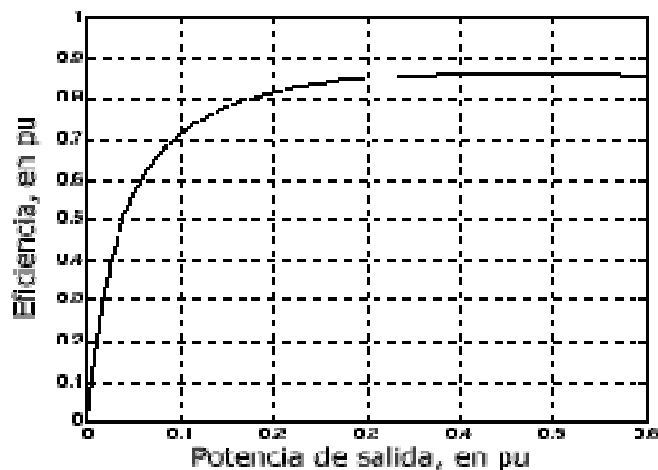
3.3 FACTOR DE POTENCIA, RELACIÓN ENTRE TENSIÓN, CORRIENTE Y LOS EFECTOS QUE OCASIONAN EN EL MOTOR

El factor de potencia se relaciona directamente con la corriente de magnetización o de vacío. Si aumenta la tensión aumenta el consumo de potencia reactiva, debido a que la corriente de magnetización o componente reactiva es alta, por tanto aumenta las pérdidas en el hierro y disminuye el factor de potencia. Si los niveles de voltaje superan lo recomendado por la norma IEC, que es $\pm 5\%$, esto es perjudicial para el motor. Un factor de potencia adecuado se logra haciendo que la potencia entregada por el motor esté entre 75 y 100% de la potencia nominal.

3.4 DEPENDENCIA DEL FP Y LA EF DE LA CARGA

3.4.1 Carga vs. Eficiencia

Figura 3. Variación de la eficiencia en función de la carga



FUENTE: Métodos para la determinación de la eficiencia energética en los motores de inducción trifásicos, Dra. Villaragot Llanes Miriam; Dr. Costa Ángel. www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/ecosolar10/images/grafico4-2 (Imagen tomada el día 15 de febrero de 2009).

Al tener la eficiencia de la siguiente manera:

$$h = \frac{P_{out}}{P_i} \quad (7)$$

P_{out} : potencia de salida

P_i : potencia de entrada.

Dentro de la potencia de entrada tendremos una potencia que se transforma en pérdidas por rozamientos y pérdidas por temperatura y la potencia real de salida requerida por la carga:

$$h = \frac{P_{out}}{P_{perdidas} + P_{out}} \quad (8)$$

- $(P_{perdidas} = k_1 + k_2 I^2)$

$$h = \frac{P_{out}}{(k_1 + k_2 I^2) + P_{out}} \quad (9)$$

Donde

K_1 = pérdidas del hierro + pérdidas mecánicas (velocidad de rotación)

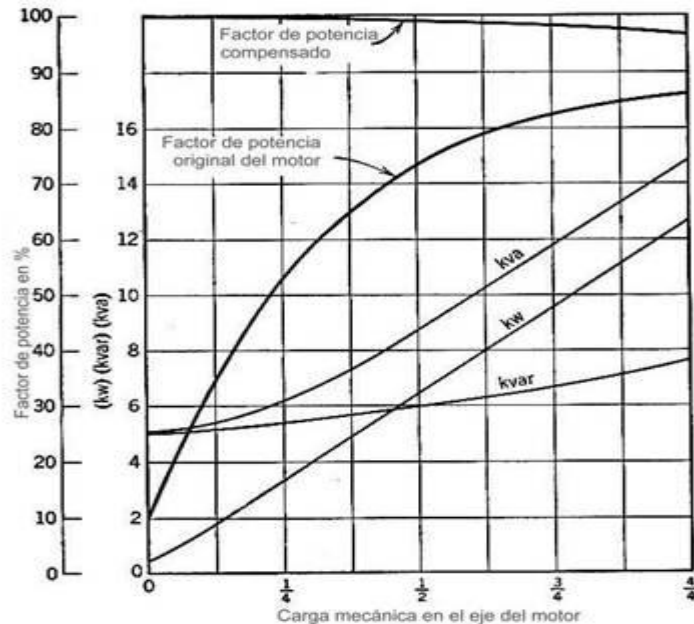
K_2 = pérdidas por la corriente del estator y el rotor (velocidad del flujo

Por lo tanto al elevar la potencia elevo la corriente y elevo igualmente las pérdidas, como lo muestra la figura 3 por lo tanto la eficiencia decae automáticamente.

En conclusión para poder mantener un motor eficiente con respecto a la carga se debe realizar un estudio preliminar con el fin de no sobredimensionarlo para evitar la mayor cantidad de pérdidas en su funcionamiento y no provocar una baja eficiencia.

3.4.2 Carga vs. Factor de potencia

Figura 4. Variación del factor de potencia en función de la carga



FUENTE: www.emaresme.com/img/articulos/grafica-detrminacion_de_potencia_en_motores.
(Imagen tomada el día 15 de febrero de 2009).

El factor de potencia de un motor de inducción es bueno a plena carga, generalmente entre un 80 ó 90%, dependiendo de la velocidad y del tipo de motor. Sin embargo, para cargas pequeñas, el factor de potencia disminuye rápidamente, como está ilustrado en la figura 4. Generalmente los motores de inducción no trabajan a plena carga, lo que da un bajo factor de potencia durante la operación

Aunque el factor de potencia de un motor de inducción varía con la carga, obsérvese en la figura 4 que la potencia reactiva del motor es esencialmente constante. Esta característica hace del motor de inducción una aplicación interesante de los capacitores para la compensación del factor de potencia, ya que compensando el motor con un capacitor adecuado, el factor de potencia resulta del orden del 95 al 98% a plena carga y aún mayor a cargas parciales. El capacitor instalado en el caso de la figura 4 es de 5 Kvar, que corresponde a los requerimientos magnetizante del motor en vacío. De allí entonces, dado que el

capacitor suministra toda la corriente magnetizante del motor el factor de potencia en vacío es unitario.

La razón por la cual la curva del factor de potencia en función de la carga es tan constante, es que los Kvar netos en vacío valen cero y a plena carga solo 2,6 Kvar que es poco comparado con los 7,6 Kvar que demanda el motor para operar a plena carga sin capacitor.

La conexión de capacitores para el mejoramiento del factor de potencia no cambia las características de funcionamiento del motor, ya que la velocidad de operación y la potencia mecánica sólo dependen de la carga del motor y de la tensión aplicada.

En general, el factor de potencia del motor disminuye al aumentar la tensión nominal y aumenta al disminuir la misma, de allí que sea importante mantener la tensión de la planta en niveles razonables, teniendo, por otro lado, la ventaja de menores pérdidas en el hierro, ya que éstas son proporcionales a la tensión al cuadrado.

Al tener la relación entre la potencia activa y la potencia aparente tenemos la siguiente expresión:

$$FP = \frac{W}{S} = \frac{W}{\sqrt{W^2 + Q^2}} \quad (10)$$

Aquí podemos observar que al tener una fracción de potencia reactiva (Q) asociada a la potencia activa (W) se le están sumando reactivos de la red y se puede decir que la potencia reactiva depende directamente del voltaje aplicado pero no de la carga, por lo tanto se considera constante y al tener en un motor operando en vacío, la potencia activa es demasiado pequeña y es directamente proporcional al factor de potencia.

En caso contrario si se aumenta la potencia activa aumenta el factor de potencia hasta alcanzar la potencia nominal.

El factor de potencia al igual que la eficiencia depende totalmente de las pérdidas explicadas ya en el numeral anterior.

4. GESTIÓN DE MOTORES

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE MAYOR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El primer paso para la gestión energética es Identificar las áreas de mayor consumo eléctrico mediante la utilización equipos de medición de calidad de la energía y por consiguiente de técnicas estadísticas como el diagrama de Pareto, que permitirá discriminar entre los factores importantes y los que en pequeña escala pueden representar resultados indeseables en el proceso, de esta manera se establece un curso de acciones para solucionar los problemas por prioridades

4.2 IDENTIFICACIÓN DE MOTORES ASOCIADOS A PROCESOS DE MAYOR CONSUMO ELÉCTRICO

Después de haber evaluado en sitio se Aplicara el diagrama de Pareto a los motores ubicados en las áreas de mayor consumo ya identificadas. El 20% de los motores que consumen el 80% de la energía eléctrica. Sobre los motores seleccionados se registran los siguientes aspectos: datos de placa del motor con el fin de verificar la potencia, tipo de motor, voltaje de alimentación, tipo de conexión, protecciones etc. Si no existen datos de placa se identifica el motor para su análisis posterior. Identificación del tipo de carga accionada y el régimen de trabajo del motor.

Se verificaran los datos de mantenimiento donde se detalle los tipos de fallas, y la frecuencia con que se presenta, cambio de rodamientos, etc. o la entrevista con el personal de mantenimiento si no existe un registro².

² QUISPE Ciro Enrique; CASTRILLON, Rosaura; VIDAL R Juan, "Recomendaciones para la implementación de un programa integral de ahorro de energía en el sistema de motores eléctricos en la industria". Memorias de CIURREE 2006, Cali, Colombia, Noviembre 2006(pag.1)

4.3 REGISTRO DE DATOS BÁSICOS DEL MOTOR

Este proceso se hará con el fin de determinar los datos básicos de fabrica del motor y a partir de ahí tomar las medidas pertinentes en cuanto al estudio de calidad contemplado para este motor ³

4.4 EVALUACIÓN DE LA POTENCIA EQUIVALENTE

Esta evaluación se realizara con el fin de determinar si el motor está trabajando de forma optima o si está trabajando por encima por de bajo de sus especificaciones y para el proceso que se requirió inicialmente y se utilizara el método de la potencia equivalente ya que su velocidad se mantiene a un ritmo constante antes de empezar necesitamos hallar el área ⁴

Primero se necesitar hallar el valor promedio equivalente para la potencia equivalente de la siguiente manera:

$$PROMEDIO = \frac{(A+B)}{2} \quad (11)$$

Teniendo ya este valor promedio aplicamos la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^3 P_i^2 t_i = P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 \quad (12)$$

Luego de haber hallado la $\sum_{i=1}^3 P_i^2 t_i$ se necesita hallar la $\sum_{i=1}^3 t_i$ de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^3 t_i = t_1 + t_2 + \dots + t_i \quad (13)$$

Teniendo ya las dos expresiones halladas podemos decir que la potencia equivalente es:

³ Ibid. pág. (pág. 2)

⁴ Ibid. pág. (pág. 2)

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \quad (W) \quad (14)$$

4.5 EVALUACIÓN DE LA CORRIENTE EQUIVALENTE

El siguiente paso será utilizar el método de la corriente equivalente con el fin de determinar si su corriente nominal tiene algunas alteraciones con la carga y por lo tanto se aplicaran las siguientes ecuaciones con el fin de evaluar este proceso. Primero se necesitar hallar el valor promedio equivalente para la corriente equivalente de la siguiente manera

$$PROMEDIO = \frac{(A+B)}{2} \quad (15)$$

Teniendo ya este valor aplicamos la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^3 I_i^2 t_i = I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 \quad (16)$$

Luego de haber hallado la $\sum_{i=1}^3 I_i^2 t_i$ se necesita hallar la $\sum_{i=1}^3 t_i$ de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^3 t_i = t_1 + t_2 + \dots + t_i \quad (17)$$

Teniendo ya las dos expresiones halladas podemos decir que la corriente promedio es:

$$I_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \quad (18)$$

4.6 EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DEL MOTOR EN OPERACIÓN

La potencia de los motores eléctricos se debe calcular de tal forma que el motor opere con una eficiencia y un factor de potencia adecuado. Si la potencia no es adecuadamente seleccionada el consumo energético del motor será excesivo, así el motor fuera de alta eficiencia.

Los procedimientos para el cálculo de la potencia dependen del tipo de carga: Para cargas de servicio continuo, cuando se conoce el valor de potencia que demanda la carga se utilizan los siguientes métodos:

- Método de los datos de Placa
- Método de separación de pérdidas.

4.6.1 Método de los datos de placa

Este método se desarrolla trabajando con la eficiencia suponiendo que esta sea constante pero tomando que la eficiencia haya sido trabajada con un método diferente a la IEEE tales como IEC o JEC como lo muestra el cuadro 2, ya se tiene un problema.

Cuadro 2. Eficiencias de un motor evaluadas por diferentes estándares

IEEE 112	IEC 34 -2	JEC - 37
90%	92.7%	93.1%

Fuente: Enrique C. Quispe, Rosaura Castrillon Una Comparación de cinco Metodologías Prácticas para Determinar la Eficiencia de Motores de Inducción en Sitio.

Otro problema sería que el que el motor hubiese sido reparado en este caso la eficiencia decae aun mas (2%) y en ultimas si el motor esta sometido a desbalances de tensión o de corriente o armónicos por equipos electrónicos, esto afectaría mi eficiencia aun mas y comparada con los datos de placa habría una gran variación.

Por eso este método no es el adecuado y no se tomara en cuenta para el análisis de los motores.

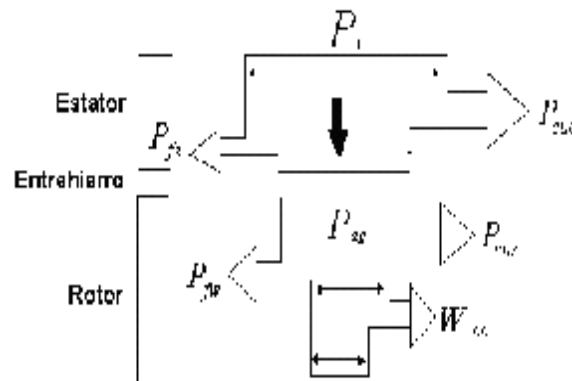
4.6.2 Método de Separación de pérdidas

Este método será el desarrollado para analizar la eficiencia y el trabajo de los motores y se basa en la diferencia que se encuentra en la potencia tanto de entrada como de salida en una máquina rotatoria ya que los procesos no son ideales, siempre se va a tener pérdidas en el interior de una máquina rotativa ya sea por perdidas en el cobre, hierro, fricción etc. ⁵.

Por lo tanto este método puede definir claramente cuales son las pérdidas en cada uno de los procesos por donde pasará el motor.

A continuación vemos la figura 5 donde nos explica un diagrama energético de un motor.

Figura 5. Diagrama energético de un motor



Fuente: Rosaura Del Pilar Castrillon, Enrique Ciro Quispe Oqueña; Luis Fernando Mantilla Peñalba. Un método practico para evaluar en el sitio de operación la eficiencia de motores

⁵ Enrique C. Quispe, Curso tutorial un método práctico para evaluar en el sitio de operación la eficiencia de motores trifásicos de inducción. Director Grupo de Investigación en Energías GIEN, Programa de Ingeniería Eléctrica Universidad Autónoma de Occidente

Sea P_i la potencia eléctrica que ingresa al motor (figura 1), se tendrá que parte de esta potencia se disipa a través del calor producido por el calentamiento de las bobinas del estator P_{cue} (pérdidas en el cobre del estator), asimismo el calentamiento del núcleo magnético estatórico produce una fuga de potencia en forma de calor P_{Fe} (pérdidas en el acero del motor).

Prácticamente solo hay que tener en cuenta las pérdidas en el acero del estator pues las pérdidas en el acero del rotor son despreciables pues la frecuencia del rotor f_2 es generalmente muy pequeña (1-3 Hz).

Así pues, la potencia que pasa al rotor a través del entrehierro llamada potencia electromagnética, es igual a:

$$P_{ag} = P_i - P_{cue} - P_{Fe} \quad (19)$$

La potencia electromagnética se transmite a través del entrehierro hacia el rotor.

Si no hubiera pérdidas en el rotor, esta potencia se transformaría totalmente en mecánica. Pero al fluir corriente en el devanado del rotor, surgen las perdidas en el cobre o aluminio P_{cur} , según el tipo de material del devanado.

Por consiguiente la potencia mecánica total desarrollada en el árbol del motor es:

$$P_m = P_{ag} - P_{cur} \quad (20)$$

Pero para calcular la potencia mecánica entregada útilmente por el motor P_o hay que restar a la potencia mecánica P_m las pérdidas por fricción y ventilación P_{fw} y las pérdidas adicionales en carga P_{LL} . Las pérdidas adicionales P_{LL} ocurren en el devanado y el acero del rotor y en están condicionadas por la presencia de las ranuras en el estator y rotor, y por la distribución no del todo sinusoidal de la fuerza magnetomotriz en el espacio. Por lo tanto la potencia útil P_o que entrega el motor será:

$$P_o = P_m - P_{fw} - P_{LL} \quad (21)$$

Por lo tanto, las pérdidas totales quedaran determinadas mediante la siguiente relación:

$$P_{perd} = P_{cue} + P_{cur} + P_{Fe} + P_{fw} + P_{LL} \quad (22)$$

El método de la evaluación de pérdidas que proponemos, consiste en estima las magnitudes de las cinco pérdidas mencionadas: pérdida en el cobre del estator P_{cue} , pérdida en el cobre del rotor P_{cur} , pérdida en el núcleo P_{Fe} , pérdida por fricción y rozamiento con el aire P_{fw} y la pérdida parásita en la carga w_{LL} .

Para evaluar las pérdidas usaremos métodos teóricos y también métodos prácticos basados en factores empíricos.

Las pérdidas en el cobre del estator se pueden calcular mediante la ecuación:

$$P_{cue} = 1.5 * RL * I_1^2 \quad (23)$$

Es decir se necesitan como datos la resistencia de fase y la corriente de fase en el motor.

Para calcular las perdidas en el hierro mas las perdidas de fricción y ventilación se usara la *Método E de la IEEE Modificado por Ontario Hydro*, que sugiere que las pérdidas por rozamiento con el aire, fricción y en el núcleo combinadas son 3.5-4.2 % de la potencia de entrada nominal, por lo tanto.

$$P_{Fe} + P_{fw} = (3.5 - 4.2 \%) P_i \quad (24)$$

Para evaluar las pérdidas adicionales en carga usamos la recomendación de la norma IEEE112⁶, que dice que las pérdidas adicionales con carga son un porcentaje de la potencia nominal del motor, de acuerdo a la potencia, así:

⁶ IEEE Power Engineering Society. IEEE Std 112TM-2004. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. USA, 2004.

Cuadro 3. Eficiencias de un motor evaluadas por NEMA MG1

Potencia Nominal HP	Perdidas Adicionales en % de la potencia
1-125	1.8 %
126-500	1.5 %
501-2499	1-2 %
2500-en adelante	0.9 %

Fuente: IEEE Power Engineering Society. IEEE Std 112TM-2004. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. USA, 2004.

Para evaluar las pérdidas adicionales en carga a partir de valores asignados utilizamos el Método 8.2.2.5.3 y no el método NEMA MG1 representado en el cuadro 3. En este caso se debe determinar las pérdidas en carga nominal, como un porcentaje de la potencia de entrada⁷.

$$P_{LL} = P_1 \times 0.025 \quad \text{para } P_2 \leq 1KW$$

$$P_{LL} = P_1 \times \left[0.025 - 0.005 \log_{10} \left(\frac{P_2}{1KW} \right) \right]$$

$$\text{para } 1KW \leq P_2 \leq 10000KW \quad (25)$$

$$P_{LL} = P_1 \times 0.005 \quad \text{para } P_2 \geq 10000KW \quad (26)$$

Es decir:

$$P_{LL} = (k\%)P_n \quad (27)$$

⁷ IEC. Standard IEC # 60034-2-1 Rotatory Electrical Machines part 2-1, Standard Methodes For Determiny Losses And Efficient From Tests. Switzerland 2007

Donde P_n es la potencia nominal del motor expresada en watts y el porcentaje depende de la potencia de placa del motor.

Las pérdidas en el rotor se pueden calcular mediante la ecuación:

$$P_{cur} = S P_{ag} \quad (28)$$

Donde S es el deslizamiento del motor que viene dado por la relación:

$$S = \frac{W_s - W_{mec}}{W_s} \quad (29)$$

Y la eficiencia,

$$h = 1 - \left(\frac{P_{perd}}{P_1} \right) \quad (30)$$

Por lo tanto se puede apreciar que para evaluar las pérdidas se necesitan como datos:

- La resistencia de línea del bobinado estatórico del motor. R_l
- La velocidad de operación del motor W_{mec}
- La corriente de fase del motor I_f
- La potencia de entrada del motor P_i
- La potencia de placa del motor P_n

Se observa que todas las variables pueden ser medidas fácilmente sin interrumpir la operación.

Por último se puede decir que la potencia de salida entregada a la carga es:

$$P_0 = P_i - P_{perdidas} \quad [31]$$

Donde P_i es la potencia y P_0 es la potencia de salida.

Se debe que tener en cuenta, que se necesita hallar también el porcentaje de factor de carga en caso de realizar un cambio de motor.

$$\% \text{FACTORDECARGA} = \left(\frac{\text{POTENCIADESALIDA}}{\text{POTENCIANOMINAL}} \right) \quad [32]$$

4.7 EFECTO DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

“Es importante tener un control estricto sobre la calidad de la potencia, si lo que se desea es la implementación de programas de uso eficiente de la energía. A su vez, si la calidad de la potencia eléctrica entregada por la red es deficiente debido a la presencia de distorsión armónica, desbalances de voltaje (sobrevoltaje ó caídas de tensión), todo esto aspectos irá en detrimento del motor aumentando las pérdidas y disminuyendo su tiempo de vida.

Se pueden considerar los siguientes aspectos, en cuanto a la calidad de la energía eléctrica de la red:

El Desequilibrio de Tensiones de línea. Las Normas NEMA e IEC recomiendan una desequilibrio de tensión de $\pm 1\%$, considerando que éste puede traer un desequilibrio de corriente de hasta del 10%. Se considera que un desequilibrio superior 2% trae efectos negativos sobre el motor.

Los Niveles de Voltaje. Las Normas IEC recomiendan un rango de $\pm 5\%$ mientras las Normas NEMA dan un rango de $\pm 10\%$. Una caída de tensión aumenta las pérdidas en el cobre del motor, mientras un sobre tensión aumenta las perdidas en el hierro”⁸

4.8 EFECTO DE LOS ARMÓNICOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE

El mayor efecto de los armónicos de voltaje y corriente en máquinas rotatorias es el incremento del calor debido a las pérdidas en el núcleo y en el cobre a la frecuencia de armónicos. Las componentes de armónicos en un motor pueden

⁸ QUISPE Ciro Enrique; CASTRILLON, Rosaura; VIDAL R Juan, Recomendaciones para la implementación de un programa integral de ahorro de energía en el sistema de motores eléctricos en la industria. Memorias de CIURREE 2006, Cali, Colombia, Noviembre 2006. (pág. 3)

crear rizos que con lleven a una emisión mayor de ruido audible que es comparado con la excitación senoidal. Los armónicos pueden también producir un flujo resultante distribuido en la separación en aire, en el cual se puede producir el fenómeno llamado cogging (negativa a arrancar fácilmente) o crawling (muy alto deslizamiento) en motores de inducción.

Los armónicos impares, tales como el quinto y el séptimo tienen el potencial para crear oscilaciones mecánicas en un sistema motor-carga. Las oscilaciones mecánicas resultan cuando torques oscilatorias, causadas por la interacción entre las corrientes de armónicos y la frecuencia fundamental del campo magnético, excita una frecuencia de resonancia mecánica. Por momentos el quinto y el séptimo armónico pueden combinarse para producir un estímulo de torsión en el rotor a la frecuencia del sexto armónico, si la frecuencia de una resonancia mecánica existe, grandes esfuerzos mecánicos pueden desarrollarse en la máquina.

Otra gran implicación está relacionada con el flujo de armónicos de corriente en el rotor. “El flujo de cada corriente en el estator producirá una fuerza magnetomotriz entre la separación de aire que inducirá corrientes en el rotor de la máquina. Como ya se mencionó, la combinación del quinto y séptimo armónico fluyendo en el estator inducirá la circulación del sexto armónico en el rotor, la combinación del 11^o y el 13^o armónico fluyendo en el estator inducirá la circulación del 12^o armónico en el rotor y así sucesivamente para los armónicos pares de orden mayor”⁹.

Las dos más grandes implicaciones que tienen la circulación de armónicos en el rotor son las siguientes:

- Resultado del calentamiento del rotor
- Pulsación o reducción del torque

⁹ Ibid., pág. 3

La cantidad del calentamiento del rotor que puede ser tolerada en el caso dado depende del tipo de rotor involucrado. Las máquinas de rotor de jaula de ardilla son menos afectadas por este factor. Las pérdidas en el devanado generalmente son de mayor importancia que las pérdidas en el núcleo (hierro).

Normalmente no es necesario descartar al motor si la distorsión de voltaje se mantiene dentro de los límites del estándar de la IEEE 519-1992, que es del orden del 5% de THD, y del 3% para cualquier armónico individual. Los problemas de sobrecalentamiento del motor empiezan cuando la distorsión de voltaje alcanza entre el 8% y el 10%, o aún mayores.

4.9 IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO A LA UAO

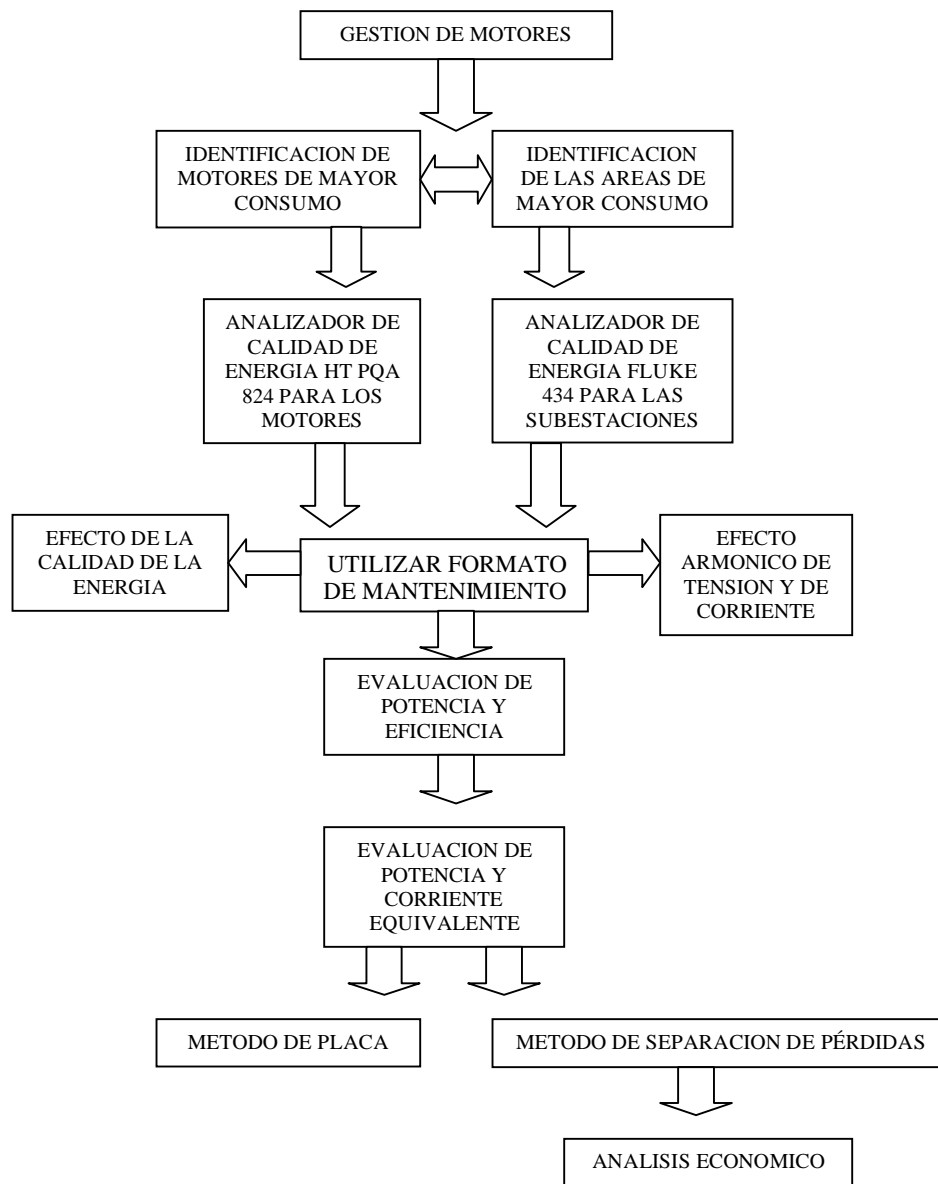
Toda maquina rotativa requiere un mantenimiento preventivo y en cuanto a la cantidad de mantenimientos dependen directamente de la utilidad y el tiempo de operación de la maquina.

En este caso las dos maquinas se encuentran con un periodo de trabajo de 6000 horas anuales por lo tanto requieren 2 mantenimientos al año.

La toma de datos es la mejor forma de llevar un historial de una maquina con el fin de implementar un sistema en un proceso de gestión de mantenimiento antes que todo se debe crear una base o un formato como lo muestra el anexo L con el fin de llevar las características básicas de una maquina al momento iniciar un mantenimiento.

4.10 DIAGRAMA DE FLUJO

Para cerrar este capítulo 4, utilizaremos un diagrama de flujo con el objetivo de representar los procesos de gestión de Motores.



GESTIÓN DE MOTORES

5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LA UAO

Esta metodología está orientada específicamente a la evaluación del uso eficiente de la energía eléctrica en la aplicación con motores eléctricos de inducción en la institución, considerando que estos consumen un volumen significativo de energía eléctrica en los procesos. El ahorro de energía inicia desde la selección apropiada de los motores. Siempre hay un motor adecuado a las necesidades de la carga a accionar, tanto en lo que respecta a su clase de diseño del rotor, por condiciones ambientales de operación, por condiciones de arranque, regulación de velocidad y por la magnitud de la potencia. Los mejores ahorros de energía eléctrica se obtienen cuando el motor y su carga operan a su máxima eficiencia.

Para la implementación de un programa integral de ahorro de energía con motores eléctricos se recomienda seguir los siguientes pasos:

5.1 EQUIPOS DE MEDICIÓN

5.1.1 Analizador de calidad de la energía fluke 434

Para el proceso de medición de subestaciones se utilizará un analizador de calidad de la energía fluke 434 que consta de:

- 4 pinzas amperimetricas con un máximo de medición de 300A.
- 4 pinzas amperimetricas Flex con un máximo de medición de 2000A.
- 5 pinzas para la medición de voltajes.
- Software de instalación.
- Manuales de usuario.

5.1.1.1 Características de funcionamiento

Fluke garantiza las características expresadas en valores numéricos con la tolerancia establecida. Los valores numéricos sin tolerancia son los normales y representan las características de un instrumento de gama media sin incluir los accesorios. El analizador cumple con la precisión especificada de 30 minutos y con dos adquisiciones completas tras el encendido. A menos que se indique lo contrario, todas las especificaciones de funcionamiento son válidas bajo las restricciones detalladas en el apartado "Condiciones ambientales".

Las especificaciones se basan en un ciclo de calibración anual.

- **DATOS AMBIENTALES** Los datos ambientales mencionados en este manual están basados en los resultados obtenidos mediante los procedimientos de verificación del fabricante.

- **CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD.**

El analizador se ha diseñado y probado conforme a la norma EN61010-1 2a edición(2001), para instrumentos con requisitos de seguridad para equipos eléctricos de medida, control de las medidas y uso en laboratorio, clase III, grado 2 de contaminación.

Este manual incluye información y advertencias que el usuario debe seguir al pie de la letra para garantizar un funcionamiento seguro y para mantener el analizador y sus accesorios en condiciones de seguridad. La utilización de este analizador y sus accesorios de un modo distinto al especificado por el fabricante puede afectar a la protección proporcionada por el equipo.

Y para la medición directa de los motores que se analizaran se utilizará un analizador de redes HT PQA 824.

5.1.2 Analizador de calidad de la energía HT PQA 824

5.1.2.1 Introducción

Los instrumentos PQA400, PQA823 y PQA824 permiten un acercamiento total del nuevo mundo de las medidas sobre instalaciones eléctricas. La combinación de instrumentos con microprocesador y la tecnología Windows CE permiten analizar una enorme cantidad de datos con una simplicidad y una velocidad imposible de obtener con cualquier otro sistema. El presente manual es común a cada instrumento, los modelos PQA823 y PQA824 son indicados como “PQA82x” y las diferencias entre ellos, cuando sea necesario, son explícitamente declaradas. Cada modelo es indicado genéricamente “instrumento”.

5.1.2.2 Funcionalidad del instrumento

El instrumento permite efectuar las siguientes operaciones:

- Visualización en tiempo real de los valores de cada parámetro eléctrico de una instalación Monofásico y Trifásico 3-hilos o 4-hilos, del Análisis Armónico de tensión y corriente hasta el 49º armónico, de las Anomalías de Tensión (huecos y picos) con resolución a 10ms y de los Flicker (Pst, Plt) sobre tensiones de entrada además de los parámetros de la Asimetría del sistema, medida de la corriente de Pico (sólo modelos PQA82x) y el análisis de los Transitorios sobre las tensiones con resolución de 5 μ s (sólo modelo PQA824).
- Visualización de las formas de onda de las señales de entrada, gráficos e histograma del análisis armónico y diagrama vectorial para el cambio del desfase entre tensiones y corrientes.

- El registro (a través de pulsar la tecla GO/STOP) de los valores de Tensiones, Anomalías de Tensión, Corriente, Armónicos, Flicker, de los valores de Potencias Activas, Reactivas y Aparentes, de los Factores de Potencia y $\cos\phi$, de los valores de las Energías Activas y Reactivas entendiendo con registro la memorización en la memoria del instrumento de los valores adjuntos al parámetro eléctrico en el tiempo.
- El análisis de los resultados serán posibles solo transfiriendo los datos memorizados a un PC.
- El volcado en la memoria del instrumento (a través de la pulsación de la tecla SAVE) es una "Captura" con el contenido de los valores instantáneos de los parámetros mostrados en el visualizador del instrumento en ese preciso momento. El análisis de los resultados será posible SOLO transfiriendo los datos memorizados a un PC.

5.2 MEDICIÓN POR CENTRO DE CONSUMOS

Mediante la investigación realizada en la universidad se llegó a la conclusión que la potencia total instalada en la universidad es de 2300KVA y están repartidos de la siguiente manera:

- Subestación 1. de 1000 KVA ubicada en la parqueadero del bloque 1 con ella se abastecen el edificio central y la parte de laboratorios su utilización esta siempre al 60% en horas pico de la potencia por lo tanto esta trabajando con 600KVA de potencia
- Subestación 2. de 500 KVA ubicada a un costado de bienestar universitario y cafetería con ella se abastecen el edificio de bienestar universitario, cafeterías (50KVA), 4 edificios de aulas c/u (25KVA) en total de (100

KVA), la planta tratadora de agua (PETAR) con (30KVA) y villa laurentino con (30KVA) en total la subestación trabaja a un 80% de su potencia de servicio.

- Subestación 3. de 800 KVA ubicada en el cuarto piso del edificio central con el fin de apoyar los motores de aire acondicionado Shiller ubicados en el mismo sitio cada motor consume 320KVA para un total de 640KVA por lo tanto la subestación trabaja al 80% de su potencia de servicio.

5.3 MEDICIÓN DE CONSUMO POR SUBESTACIONES

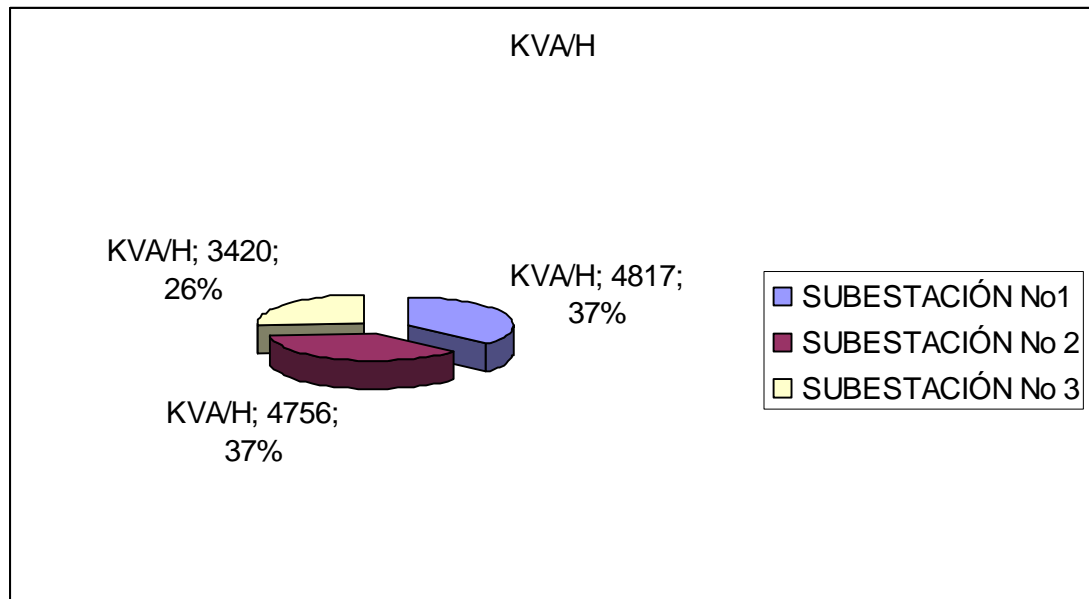
Efectuado con el analizador de redes fluke 434 a continuación se observan los datos obtenidos después de realizar una medición directa de consumo a las tres subestaciones ubicadas dentro de la universidad y que operan todo el sistema eléctrico.

Cuadro 4. Consumo de potencia por subestación en un periodo de 24 horas

SITIO	CONSUMO KW/H
SUBESTACION No 1	4817
SUBESTACION No 2	4756
SUBESTACION No 3	3420

Después de haber analizado estas pruebas y de realizar un análisis podemos observar en el cuadro 4 y la figura 6 que la subestación No 1 y la subestación No 2 son las que mas energía consumen diariamente, por lo tanto se les hará el seguimiento y se le aplicará el método de Pareto con el fin de hacerle la gestión de motores a los que mas estén incidiendo en el consumo.

Figura 6. Consumo de potencia por subestaciones



5.4 CONSUMO POR ÁREAS

En este proceso lo que se busca es encontrar el consumo por subestaciones teniendo en cuenta que tanto la subestación 1 y la subestación 2 son las que mas gasto de energía realizan diariamente a la universidad autónoma de occidente denotándolo por la cantidad de KW/H que consumen cada motor con el fin de determinar posteriormente con el diagrama de Pareto los motores de mayor consumo y realizarles el estudio de calidad pertinente.

5.4.1 Análisis subestación 2

Análisis realizado a las bombas ubicadas en la subestación 2 y que corresponden a los 4 bloques de estudio, Cafetería, Bienestar universitario, PTAR (Planta Tratadora de Aguas Residuales) y Villa Laurentino como se observa en el cuadro 5.

Cuadro 5. Consumo de potencia en la subestación 2

SITIO	CONSUMO KW/H
BOMBA LIDER (7.5 HP)	104.9
BOMBA DE APOYO (20 HP)	175.2
BOMBA LA PICERO (20 HP)	30.27

5.4.2 Análisis subestación 1

Análisis realizado a las bombas ubicadas en la subestación 1 y que corresponden a los bloques centrales administrativos y laboratorios como se observa en el cuadro 6.

.

Cuadro 6. Consumo de potencia en la subestación 1

SITIO	CONSUMO KW/H
BOMBA 1 (2.5 HP)SOTANO 2 ALA SUR	5.652
BOMBA 2 (2.5 HP)SOTANO 2 ALA SUR	0.133
BOMBA 3 (2.0 HP)SOTANO 2 ALA NORTE	5.932
BOMBA 4 (2.0 HP)SOTANO AULAS 1	0.456

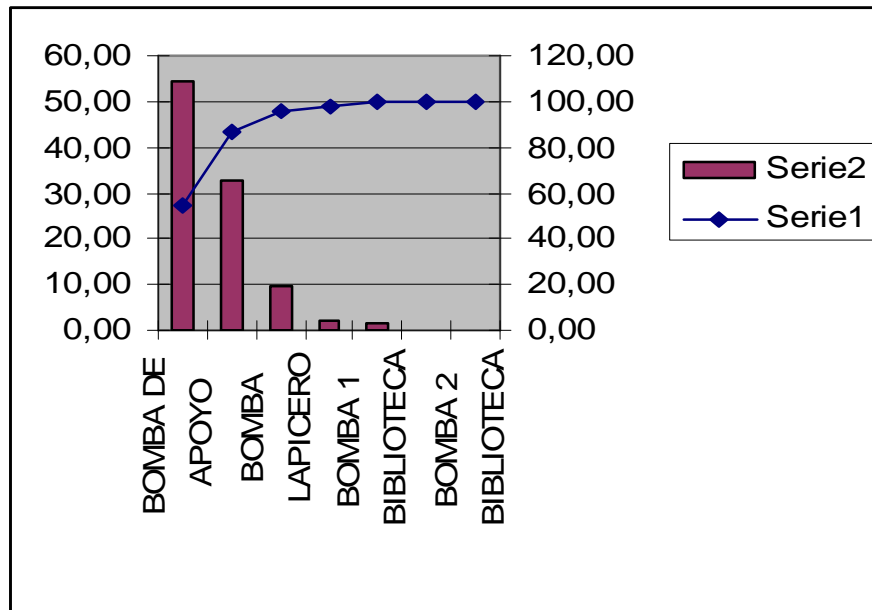
5.5 IDENTIFICACIÓN DE MOTORES DE MAYOR CONSUMO

5.5.1 Diagrama de Pareto

Cuadro 7. Porcentajes de consumo para graficar el diagrama de Pareto

LUGAR	KW/H	%	%ACUMULADO
BOMBA DE APOYO	175,2	54,32	54,32
BOMBA LIDER	104,9	32,52	86,84
BOMBA LAPICERO	30,27	9,38	96,23
BOMBA LABORATORIOS	5,932	1,84	98,07
BOMBA 1 BIBLIOTECA	5,652	1,75	99,82
BOMBA SOTANO AULAS 1	0,456	0,14	99,96
BOMBA 2 BIBLIOTECA	0,133	0,04	100,00
TOTAL	322,543		

Figura 7. Diagrama de Pareto



En conclusión se puede observar por medio del diagrama de Pareto cuadro 7 y figura 7 que tanto la bomba de apoyo como la bomba líder representan el mayor consumo de energía diario frente a los demás motores.

Debido a esto se puede decir que el siguiente paso será tomar estos 2 motores y someterlos a estudio con el fin de buscar posibles mejoras en la parte de eficiencia y factor económico.

5.6 DATOS BÁSICOS DE LOS MOTORES DE MAYOR CONSUMO

Después de haber realizado un control de calidad minucioso se logro verificar que tanto la bomba líder con una potencia de 7.5HP como la bomba de apoyo con una potencia de 20HP presentan el mayor consumo realizado a la universidad en este caso antes de empezar a realizar cualquier calculo de eficiencia se necesita soportar los datos de placa dados por el fabricante con el fin de comparar alguna variación dentro de la maquina los datos se observan en el cuadro 8:

Cuadro 8. Datos básicos de los motores existentes para realizar control de calidad

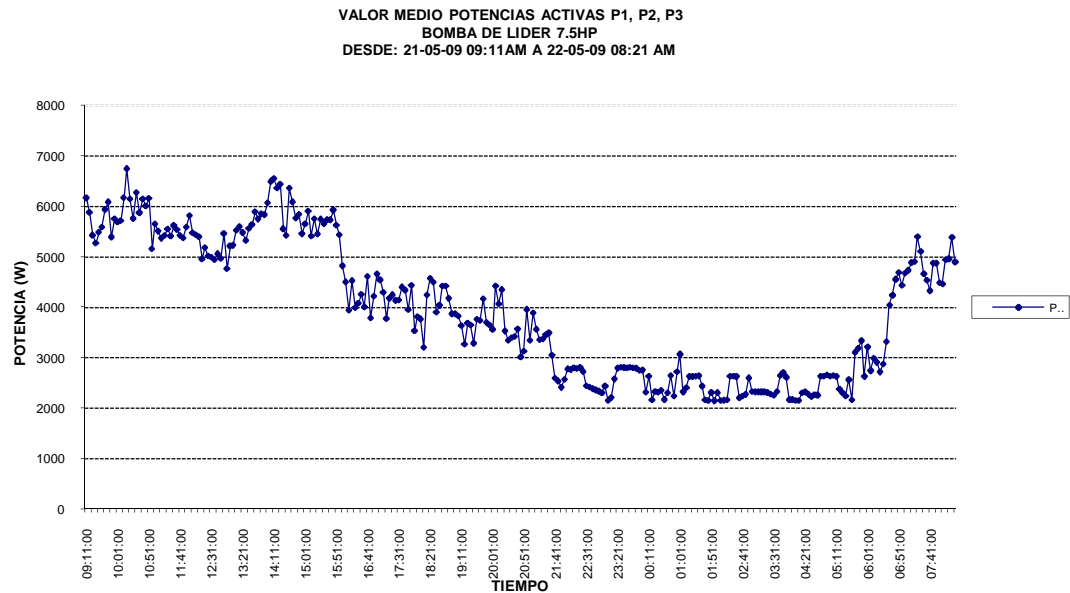
BOMBA LIDER		BOMBA DE APOYO	
MARCA	US ELECTRICAL MOTORS	MARCA	AURORA PUMPS
MODELO		MODELO	341A
RPM	3525	RPM	3500
POTENCIA	7,5HP	POTENCIA	20HP
L amp	18.6 / 9.3	CORRIENTE	36,04 A
F amp	22.6 / 11.3	VOLTAGE	460 V
No DE FASES	3	No DE FASES	3
TENSION	250 – 480	CAUDAL	240 GPM
TIPO	UTE4	CABEZA	164 PIES/49,99M
CLASE	F	DIAMETRO DE SUCCION	2 PULG
FRAME	213JM	DIAMETRO DE DESCARGA	2,1/2 PULG

5.7 CALCULO DE LA POTENCIA EQUIVALENTE Y CORRIENTE EQUIVALENTE PARA LA BOMBA LÍDER 7.5HP

NOTA: el cálculo de la potencia equivalente y corriente equivalente para este trabajo en particular teniendo en cuenta que el consumo de potencia y corriente son constantes durante un periodo de medición de 24 horas y no presento variaciones se toma tan solo una muestra de una hora donde se presento el pico más alto de consumo de potencia y de corriente, por lo tanto para periodos donde la variación de potencia y corriente es muy grande este calculo se debe realizar para todo el periodo de medición.

A continuación se muestra figura 8 y representa la potencia consumida por el motor de 7.5hp durante un periodo de 24 horas.

Figura 8. Medición de potencia activa en bomba líder (7.5HP)



El siguiente paso es realizar el análisis de potencia y corriente equivalente y para este proceso se tomaron los valores de potencia y corriente (ver cuadro 9) en un intervalo de tiempo dado desde las 10:01am hasta las 11:01am ubicando en este intervalo de tiempo mi mayor consumo de potencia en un periodo de 24 horas y como lo muestra la figura No 9

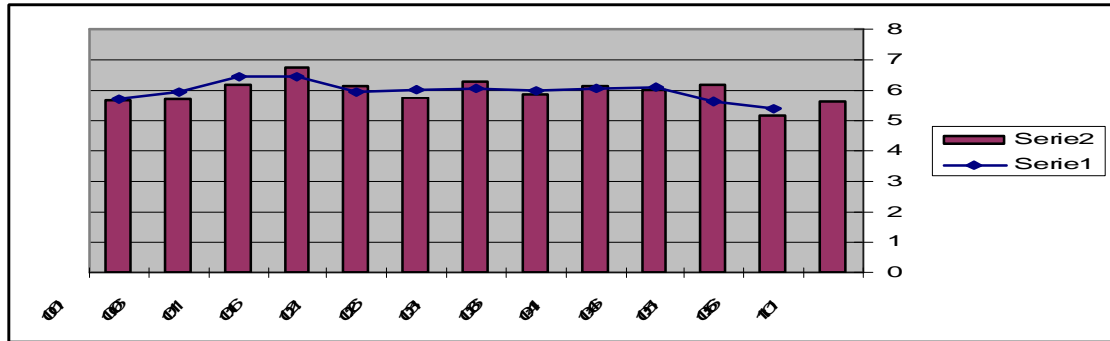
Cuadro 9. Intervalo máximo de datos tomado para la medición De la bomba líder.

HORA	P ACTIVA (W)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	(I1+I2+I3)/3
10:01	5687	8.568	8.094	8.75	8.47
10:06	5712	8.604	8.156	8.752	8.50
10:11	6173	8.941	8.408	9.142	8.83
10:16	6745	9.662	9.172	9.875	9.56
10:21	6146	8.906	8.398	9.178	8.82
10:26	5759	8.652	8.182	8.841	8.55
10:31	6275	9.088	8.582	9.293	8.98
10:36	5873	8.743	8.286	8.964	8.66
10:41	6145	8.934	8.456	9.124	8.83
10:46	6004	8.963	8.463	9.145	8.85
10:51	6159	8.972	8.403	9.148	8.84
10:56	5159	8.131	7.663	8.277	8.02
11:01	5650	8.465	7.991	8.645	8.36

A continuación se calcula el valor medio para la potencia utilizando el intervalo de mayor consumo de potencia.

5.7.1 Cálculo de la potencia equivalente para la bomba líder 7.5HP

Figura 9. Intervalo máximo tomado en la bomba líder para el proceso de hallar la potencia equivalente.



Por medio de la ecuación [11] hallamos la potencia promedio en el intervalo máximo

$$\frac{(5712W + 5687W)}{2} = 5.69KW$$

$$\frac{(6173W + 5712W)}{2} = 5.94KW$$

$$\frac{(6745W + 6173W)}{2} = 6.45KW$$

$$\frac{(6146W + 6745W)}{2} = 6.44KW$$

$$\frac{(5759W + 6146W)}{2} = 5.95KW$$

$$\frac{(6275W + 5759W)}{2} = 6.01KW$$

$$\frac{(5873W + 6275W)}{2} = 6.07KW$$

$$\frac{(6145W + 5873W)}{2} = 6.00KW$$

$$\frac{(6004W + 6145W)}{2} = 6.07KW$$

$$\frac{(6159W + 6004W)}{2} = 6.08KW$$

$$\frac{(5159W + 6159W)}{2} = 5.65KW$$

$$\frac{(5650W + 5159W)}{2} = 5.40KW$$

Teniendo ya nuestros valores de potencia consumida procedemos a aplicar la Ecuación [12] con el fin de hallar la potencia equivalente.

$$\sum_{i=1}^3 P_i^2 t_i = P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 P_i^2 t_i &= (5.69)^2 KW * 5 \text{ min} + (5.94)^2 KW * 5 \text{ min} + (6.45)^2 KW * 5 \text{ min} + (6.44)^2 KW * 5 \text{ min} \\ &+ (5.95)^2 KW * 5 \text{ min} + (6.01)^2 KW * 5 \text{ min} + (6.07)^2 KW * 5 \text{ min} + (6)^2 KW * 5 \text{ min} + (6.07)^2 KW * 5 \text{ min} \\ &+ (6.08)^2 KW * 5 \text{ min} + (5.65)^2 KW * 5 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^3 P_i^2 t_i = 2149.7 KW * \text{min}$$

Ahora trabajamos con la ecuación [13] para hallar el tiempo del intervalo

$$\sum_i T_i = 60 \text{ min}$$

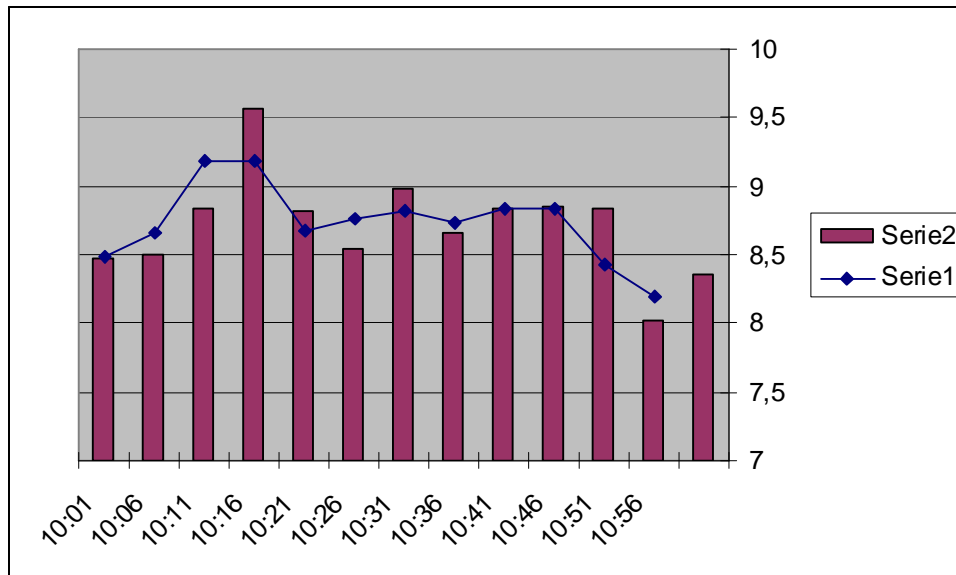
Por último utilizamos la ecuación [14]

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} = \sqrt{\frac{2149.7 \text{ kw} * \text{min}}{60 \text{ min}}} = 5.98 \text{ kw}$$

5.7.2 Cálculo de la corriente equivalente para la bomba líder 7.5HP

A continuación se calcula el valor promedio para la corriente utilizando el intervalo de mayor consumo de corriente como se puede observar en la figura 10.

Figura 10. Intervalo máximo tomado en la bomba líder para el proceso de hallar la corriente equivalente.



Ahora se hallara la corriente equivalente para este paso, se realizará el mismo proceso que utilizamos y se halla el promedio.

Por medio de la ecuación [15] hallamos la corriente promedio en el intervalo

$$\frac{(8.50A + 8.47A)}{2} = 8.48A$$

$$\frac{(8.83A + 8.50A)}{2} = 8.66A$$

$$\frac{(9.56A + 8.83A)}{2} = 9.19A$$

$$\frac{(8.82A + 9.56A)}{2} = 9.19A$$

$$\frac{(8.55A + 8.82A)}{2} = 8.68$$

$$\frac{(8.98A + 8.55A)}{2} = 8.76A$$

$$\frac{(8.66A + 8.98A)}{2} = 8.82A$$

$$\frac{(8.83A + 8.66A)}{2} = 8.74A$$

$$\frac{(8.85A + 8.83A)}{2} = 8.84A$$

$$\frac{(8.84A + 8.85A)}{2} = 8.84A$$

$$\frac{(8.02A + 8.84A)}{2} = 8.43A$$

$$\frac{(8.36A + 8.02A)}{2} = 8.19A$$

Aplicamos la Ecuación [16] con el fin de hallar la corriente equivalente.

$$\sum_{i=1}^3 I_i^2 t_i = I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 I_i^2 t_i &= (8.48)^2 A * 5 \text{ min} + (8.66)^2 A * 5 \text{ min} + (9.19)^2 A * 5 \text{ min} + (9.19)^2 A * 5 \text{ min} + \\ &+ (8.68)^2 A * 5 \text{ min} + (8.76)^2 A * 5 \text{ min} + (8.82)^2 A * 5 \text{ min} + (8.74)^2 A * 5 \text{ min} + (8.84)^2 A * 5 \text{ min} \\ &+ (8.84)^2 A * 5 \text{ min} + (8.43)^2 A * 5 \text{ min} + (8.19)^2 A * 5 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^3 I_i^2 t_i = 4581.9A * \min$$

Ahora trabajamos con la ecuación [17] para hallar el tiempo en el intervalo.

$$\sum_{i=1}^3 t_i = i = 60 \min$$

Por ultimo utilizamos la ecuación [18]

$$I_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} = \sqrt{\frac{4581.9A * \min}{60 \min}} = 8.73A$$

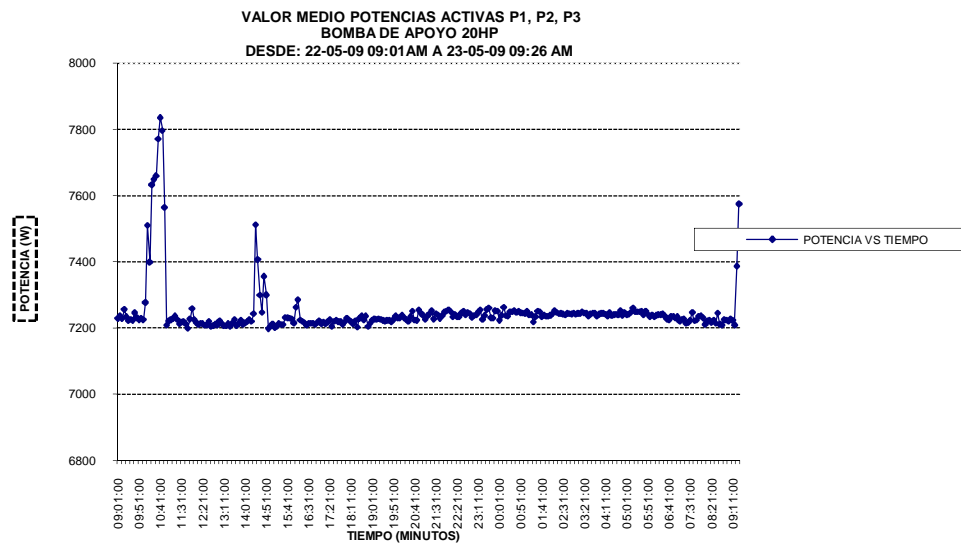
5.8 CALCULO DE LA POTENCIA EQUIVALENTE Y CORRIENTE EQUIVALENTE PARA LA BOMBA DE APOYO 20HP

Cuadro 10. Intervalo máximo de datos tomado para la medición
De la bomba de apoyo.

HORA	P ACTIVA (W)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	(I1+I2+I3)/3
10:01	7226	13.03	10.25	11.46	11.58
10:06	7278	13.17	10.28	11.47	11.64
10:11	7511	13.39	10.54	11.78	11.90
10:16	7400	13.31	10.43	11.59	11.77
10:21	7634	13.55	10.72	11.86	12.04
10:26	7650	13.57	10.72	11.88	12.05
10:31	7661	13.57	10.70	11.95	12.07
10:36	7773	13.72	10.83	12.08	12.21
10:41	7837	13.78	10.94	12.17	12.29
10:46	7798	13.66	10.89	12.18	12.24
10:51	7565	13.36	10.65	11.87	11.96
10:56	7209	12.86	10.33	11.42	11.53
11:01	7222	13.00	10.25	11.45	11.56

A continuación se muestra figura 11 y representa la potencia consumida por el motor de 20HP durante un periodo de 24 horas.

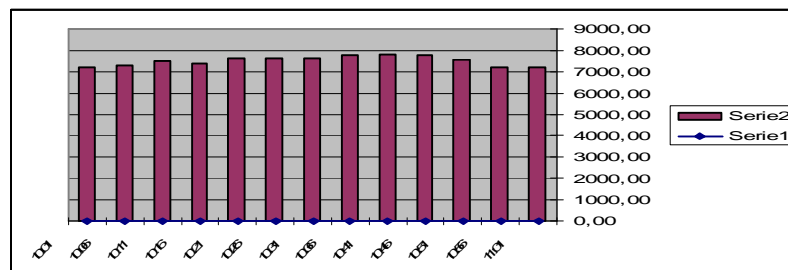
Figura 11. Medición de potencia activa en bomba de apoyo (20HP)



5.8.1 Calculo de la potencia equivalente para la bomba de apoyo 20HP

El siguiente paso es realizar el análisis de potencia y corriente equivalente y para este proceso se tomaron los valores de potencia y corriente (ver cuadro 10) en un intervalo de tiempo dado desde las 10:01am hasta las 11:01am ubicando en este intervalo de tiempo mi mayor consumo de potencia en un periodo de 24 horas y como lo muestra la figura No 12

Figura 12. Intervalo máximo tomado en la bomba de apoyo para el proceso De hallar la potencia equivalente.



Por medio de la ecuación [11] hallamos la potencia promedio en el intervalo máximo.

$$\frac{(7278W + 7226W)}{2} = 7,252KW$$

$$\frac{(7511W + 7278W)}{2} = 7.394KW$$

$$\frac{(7400W + 7511W)}{2} = 7.455KW$$

$$\frac{(7634W + 7400W)}{2} = 7.517KW$$

$$\frac{(7650W + 7634W)}{2} = 7.642KW$$

$$\frac{(7661W + 7650W)}{2} = 7.655KW$$

$$\frac{(7773W + 7661W)}{2} = 7.717KW$$

$$\frac{(7837W + 7773W)}{2} = 7.805KW$$

$$\frac{(7798W + 7837W)}{2} = 7.817KW$$

$$\frac{(7565W + 7798W)}{2} = 7.681KW$$

$$\frac{(7209W + 7565W)}{2} = 7.387KW$$

$$\frac{(7222W + 7209W)}{2} = 7.215KW$$

Teniendo ya nuestros valores de potencia consumida procedemos a aplicar la ecuación [12] Con el fin de hallar la potencia equivalente

$$\sum_{i=1}^3 P_i^2 t_i = P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3$$

$$\sum_{i=1}^3 P_i^2 t_i = (7.252)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.394)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.455)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.517)^2 KW * 5 \text{ min} +$$

$$+ (7.642)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.655)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.717)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.805)^2 KW * 5 \text{ min} +$$

$$+ (7.817)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.681)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.387)^2 KW * 5 \text{ min} + (7.215)^2 KW * 5 \text{ min}$$

$$\sum_{i=1}^3 P_i^2 t_i = 3417 KW * \text{min}$$

Ahora trabajamos con la ecuación [13] para hallar el tiempo del intervalo tomado

$$\sum_{i=1}^3 t_i = i = 60 \text{ min}$$

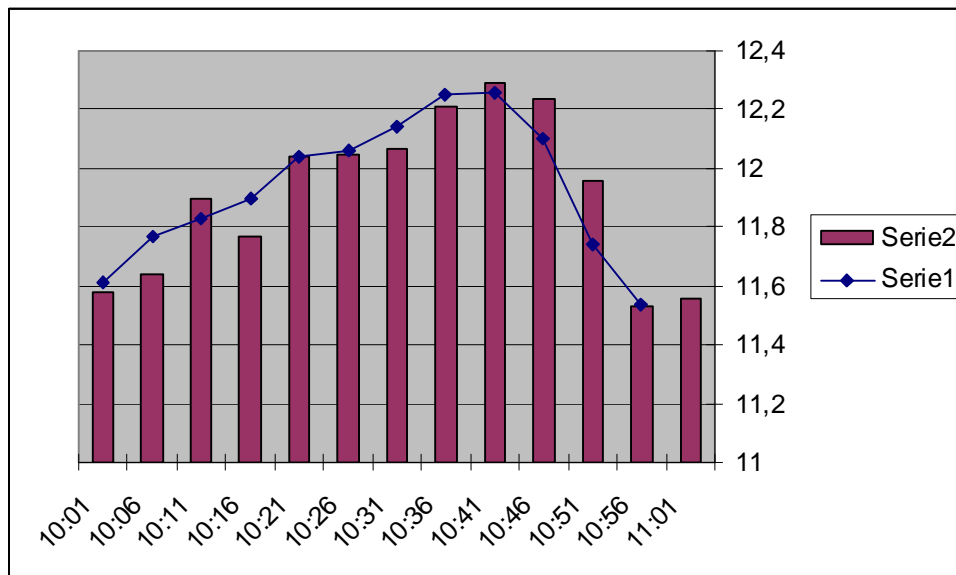
Por último utilizamos la ecuación [14]

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} = \sqrt{\frac{3417 KW * \text{min}}{60 \text{ min}}} = 7.54 KW$$

5.8.2 Calculo de la corriente equivalente para la bomba de apoyo 20HP

A continuación se calcula el valor promedio para la corriente utilizando el intervalo de mayor consumo de corriente como se observa en la figura 13.

Figura 13. Intervalo máximo tomado en la bomba de apoyo para el proceso De hallar la corriente equivalente.



Ahora se hallara la corriente equivalente para este paso haremos el mismo proceso que utilizamos para hallar el promedio.

Por medio de la ecuación [15] hallamos la corriente promedio en el intervalo

$$\frac{(11.64A + 11.58A)}{2} = 11.61A$$

$$\frac{(11.90A + 11.64A)}{2} = 11.77A$$

$$\frac{(11.77A + 11.90A)}{2} = 11.83A$$

$$\frac{(12.04A + 11.77A)}{2} = 11.90A$$

$$\frac{(12.05A + 12.04A)}{2} = 12.04A$$

$$\frac{(12.07A + 12.05A)}{2} = 12.06A$$

$$\frac{(12.21A + 12.07A)}{2} = 12.14A$$

$$\frac{(12.29A + 12.21A)}{2} = 12.25A$$

$$\frac{(12.24A + 12.29A)}{2} = 12.26A$$

$$\frac{(11.96A + 12.24A)}{2} = 12.1A$$

$$\frac{(11.53A + 11.96A)}{2} = 11.74A$$

$$\frac{(11.56A + 11.53A)}{2} = 11.54A$$

Aplicamos la Ecuación [16] con el fin de hallar la corriente equivalente.

$$\sum_{i=1}^3 I_i^2 t_i = I^2 t_1 + I^2 t_2 + I^2 t_3$$

$$\sum_{i=1}^3 I_i^2 t_i = (11.61)^2 A * 5 \text{ min} + (11.77)^2 A * 5 \text{ min} + (11.83)^2 A * 5 \text{ min} + (11.90)^2 A * 5 \text{ min} +$$

$$+ (12.04)^2 A * 5 \text{ min} + (12.06)^2 A * 5 \text{ min} + (12.14)^2 A * 5 \text{ min} + (12.25)^2 A * 5 \text{ min} + (12.26)^2 A * 5 \text{ min}$$

$$+ (12.1)^2 A * 5 \text{ min} + (11.74)^2 A * 5 \text{ min} + (11.54)^2 A * 5 \text{ min}$$

$$\sum_{i=1}^3 I_i^2 t_i = 8552.24A * \text{min}$$

Ahora trabajamos con la ecuación [17] para hallar el tiempo

$$\sum_{i=1}^3 t_i = i = 60 \text{ min}$$

Por último utilizamos la ecuación [18]

$$I_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} = \sqrt{\frac{8552.24 \text{ A} * \text{min}}{60 \text{ min}}} = 11.93 \text{ A}$$

Como ya se conoce la potencia y la corriente equivalente al igual que su resistencia de línea se aplicara el método de separación de pérdidas con el fin de hallar la eficiencia del motor y la potencia entregada por el motor a la carga.

5.9 MÉTODO DE SEPARACIÓN DE PÉRDIDAS PARA LA EVALUACION DE EFICIENCIA EN LOS MOTORES DE MAYOR CONSUMO

Para el cálculo de la eficiencia como ya anteriormente se había mencionado utilizaremos el método de separación de perdidas tanto para la bomba líder que tiene una potencia de 7.5HP como para la bomba de apoyo con una potencia de 20HP.

5.9.1 Método de separación de pérdidas para la bomba líder 7.5HP

RL = Resistencia de línea.

RF = Resistencia de fase

Pi = Potencia de entrada.

Po = potencia de salida.

Pm = potencia mecánica.

Pcue = Perdidas en el cobre del estator.

Pcur = Perdidas en el cobre del rotor.

P_{fe} = Pérdidas en el acero del motor.

P_{fw} = Pérdidas por fricción y ventilación.

P_{ag} = Potencia electromagnética.

P_{II} = Pérdidas adicionales en carga.

$$R_L = 1.56 \Omega$$

$$P_i = 5.98 \text{ KW}$$

$$I_i = 8.73 \text{ A}$$

Calculamos mediante la ecuación [23] las pérdidas en el cobre del estator

$$P_{\text{cue}} = 1.5 * R_L * I_i^2$$

$$P_{\text{cue}} = 1.5 * 1.56 \Omega * 8.73^2 \text{ A}$$

$$P_{\text{cue}} = 178 \text{ W} = 0.178 \text{ KW}$$

Para hallar las pérdidas por fricción y las pérdidas en el acero del motor utilizamos la ecuación [24] donde

$$P_{Fe} + P_{fw} = (3.5 - 4.2 \%) P_i$$

$$P_{Fe} + P_{fw} = \left(\frac{3.5 * 5.98 \text{ KW}}{100} \right)$$

$$P_{Fe} + P_{fw} = 0.2093 \text{ KW}$$

Lo siguiente es hallar el deslizamiento mediante la ecuación [29]

$$S = \frac{W_s - W_{mec}}{W_s}$$

$$S = \frac{3600 - 3560}{3600}$$

$$S = 0.01$$

Luego se busca la potencia en el entrehierro con la ecuación [19]

$$P_{ag} = P_i - P_{cue}$$

$$P_{ag} = 5.98KW - 0.178KW$$

$$P_{ag} = 5.80KW$$

Teniendo el deslizamiento y las perdidas en el entrehierro se puede hallar las perdidas en el cobre del rotor mediante la ecuación [28]

$$P_{cur} = S * P_{ag}$$

$$P_{cur} = 0.01 * 5.80KW$$

$$P_{cur} = 0.0058KW$$

Ahora para hallar las perdidas adicionales con carga utilizamos la ecuación [26]

$$P_{LL} = P_i * 0.005$$

$$P_{LL} = 5.98KW * 0.005$$

$$P_{LL} = 0.0598KW$$

Ya teniendo todas las perdidas nos disponemos a hallar las perdidas totales con la ecuación [22]

$$P_{perdidas} = P_{cue} + P_{cur} + P_{fe} + P_{fw} + P_{ll}$$

$$P_{\text{perdidas}} = 0.178KW + 0.0058KW + 0.2093KW + 0.0598KW$$

$$P_{\text{perdidas}} = 0.4529KW$$

Y por último ya obteniendo todas las pérdidas en el proceso se calcula la eficiencia con la ecuación [30]

$$h = \left(1 - \frac{P_{\text{perdidas}}}{P_i} \right) * 100 \quad P_0 = P_i - P_{\text{perdidas}}$$

$$h = \left(1 - \frac{0.4529KW}{5.98KW} \right) * 100 \quad P_0 = 5.84KW - 0.4529KW$$

$$h = 92.4 \% \quad P_0 = 5.52KW$$

5.9.2 Método de separación de pérdidas para la bomba de apoyo 20HP

ANÁLISIS BOMBA DE APOYO

RL = Resistencia de línea.

RF = Resistencia de fase

Pi = Potencia de entrada

Po = potencia de salida.

Pm = potencia mecánica.

Pcue = Perdidas en el cobre del estator

Pcur = Perdidas en el cobre del rotor.

Pfe = Perdidas en el acero del motor.

Pfw = Perdidas por fricción y ventilación.

Pag = Potencia electromagnética.

Pll = Perdidas adicionales en carga.

Inicialmente tomamos la potencia calculada a través del instrumento de medición en este caso el analizador de calidad HT PQA-824 se realizó una medición en un rango de 23 horas tomando una muestra cada 5 minutos para un total de 279 muestras y sacando el promedio la potencia que le entra al motor es de 7248.7 W.

$$RL = 2.6\Omega$$

$$Pi = 7.54KW$$

$$Ii = 11.93A$$

Calculamos mediante la ecuación [23] las pérdidas en el cobre del estator

$$P_{cue} = 1.5 * RL * I_i^2$$

$$P_{cue} = 1.5 * 2.6\Omega * 11.93^2 A$$

$$P_{cue} = 0.555 KW$$

Para hallar las pérdidas por fricción y las pérdidas en el acero del motor utilizamos La ecuación [24]

$$P_{Fe} + P_{fw} = (3.5 - 4.2 \%) P_i$$

$$P_{Fe} + P_{fw} = \left(\frac{3.5 * 7.54 KW}{100} \right)$$

$$P_{Fe} + P_{fw} = 0.2639 KW$$

Lo siguiente es hallar el deslizamiento mediante la ecuación [29]

$$S = \frac{W_s - W_{mec}}{W_s}$$

$$S = \frac{3600 - 3582}{3600}$$

$$S = 0.005$$

Luego hallamos la potencia en el entrehierro con la ecuación [19]

$$P_{ag} = P_i - P_{cue}$$

$$P_{ag} = 7.54KW - 0.55506KW$$

$$P_{ag} = 6.98KW$$

Teniendo el deslizamiento y las perdidas en el entrehierro podemos hallar las perdidas en el cobre del rotor mediante la ecuación [28].

$$P_{cur} = S * P_{ag}$$

$$P_{cur} = 0.005 * 6.98KW$$

$$P_{cur} = 0.0698KW$$

Ahora para hallar las perdidas adicionales con carga utilizamos la ecuación [26]

$$P_{LL} = P_i * 0.005$$

$$P_{LL} = 7.54KW * 0.005$$

$$P_{LL} = 0.0377KW$$

Ya teniendo todas las perdidas nos disponemos a hallar las perdidas totales con la ecuación [22]

$$P_{perdidas} = P_{cue} + P_{cur} + P_{fe} + P_{fw} + P_{ll}$$

$$P_{perdidas} = 0.555KW + 0.0698KW + 0.2639KW + 0.0377KW$$

$$P_{perdidas} = 0.92646KW$$

Y por último ya teniendo todas las pérdidas por el proceso hallamos la eficiencia con la ecuación [30] y con la ecuación [31] se halla la potencia de salida entregada a la carga

$$h = \left(1 - \frac{P_{perdidas}}{P_i} \right) * 100$$

$$P_0 = P_i - P_{perdidas}$$

$$h = \left(1 - \frac{0.92646 \text{ KW}}{7.54 \text{ KW}} \right) * 100$$

$$P_0 = 7.54 \text{ KW} - 0.92646 \text{ KW}$$

$$h = 87.7 \%$$

$$P_0 = 6.61 \text{ KW}$$

De acuerdo a las mediciones realizadas en campo al motor de la bomba de apoyo de 20HP, podemos concluir que se debe cambiar por un motor de menor potencia. Según los cálculos realizados al factor de carga, encontramos que el motor se encuentra en un punto de operación del 45% de su potencia nominal y por lo investigado en la norma NEMA MG1 y NEMA MG10, el punto de eficiencia más óptimo se encuentra en un rango de operación entre el 60% y 85% de su potencia nominal, típicamente alrededor del 75% para motores entre 10HP y 200HP. Se aplica inicialmente la ecuación [32].

$$\% \text{FACTOR DE CARGA} = \left(\frac{\text{POTENCIA DE SALIDA}}{\text{POTENCIA NOMINAL}} \right)$$

$$\% \text{FACTOR DE CARGA} = \left(\frac{6.61 \text{ KW}}{14.7 \text{ KW}} \right) * 100$$

$$\% \text{FACTOR DE CARGA} = 45 \%$$

6. RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE MOTORES

6.1 SELECCIÓN DEL NUEVO MOTOR DE APOYO

Por otra parte podemos justificar el cambio de este motor existente, con los datos medidos con el analizador de redes y los cálculos anteriormente realizados con el método De separación de perdidas, ya que hemos concluido que se encuentra sobredimensionado debido a que su potencia nominal es de 14.960W y el motor actualmente entrega una potencia de salida de 6.710W, con unas pérdidas calculadas de 926,46W, es decir que como habíamos dicho anteriormente el motor está con un factor de carga del 45%.

Para seleccionar la potencia adecuada del motor que vamos a instalar nos basamos en la ecuación [32] de la siguiente manera:

$$\% \text{FACTORDECARGA} = \left(\frac{\text{POTENCIADESALIDA}}{\text{POTENCIANOMINAL}} \right)$$

$$\text{POTENCIADESALIDA} = \% \text{FACTORDECARGA} * \text{POTENCIANOMINAL}$$

$$\text{POTENCIADESALIDA} = 0.45 * 14920W$$

$$\text{POTENCIADESALIDA} = 6714W$$

De esta manera se ha decidido cambiarlo por un motor de 10HP equivalente a 7460KW.

Para la selección de este motor nos hemos basado en un software International Motor selection and savings analysis (motor master International), teniendo en cuenta normas internacionales de estimación de eficiencia de la IEEE norma

NEMA MG-1, cuya última fecha de actualización fue realizada en Diciembre 12 del año 2006.

De acuerdo a los datos ingresados al software, el sistema arroja el siguiente motor con sus respectivas especificaciones como se puede observar el cuadro 11:

Cuadro 11. Características del nuevo motor de apoyo

FABRICANTE	NA
MODELO	NA
CATALOGO	GP100
HP	10
CARCASA	TEFC
EFF PLENA CARGA %IEEE	91,7
TENSION	208-230/460
RPM PLENA CARGA	3.560
FACTOR DE POTENCIA PLENA	
CARGA %	89
CORRIENTE A PLENA CARGA	11,5
FRAME	215T
PAR ROTOR BLOQUEADO	
(FT;LBS)	30,2
PRECIO DE LISTA (DOLARES)	954
ULTIMA ACTUALIZACION	06/06/2006

6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para la realización del análisis costo beneficio que representa el cambio de este motor nos hemos basado también en el mismo software International Motor selection and savings análisis (motor master International), teniendo en cuenta normas internacionales de estimación de la IEEE y NEMA MG-1.

De acuerdo a los datos ingresados en el sistema teniendo en cuenta las características nominales del motor existente y el motor por el cual vamos a recomendar instalar, podemos observar en el cuadro 12, según los datos arrojados por el sistema, una comparación que surge al realizar un reemplazo de motores en operación en donde se analiza los eventuales beneficios económicos de reemplazar un motor de eficiencia Estándar en operación por un motor Premium o Eficiente. Este escenario nos permite decidir si es conveniente económicamente reemplazar motores en operación, viejos, de baja eficiencia, y sobredimensionados. El análisis considera el precio total de compra del nuevo motor más sus costos de instalación como el precio total del motor. Un valor por defecto de los costos de instalación se introduce de manera automática en el análisis.

Se utilizo también el software Evamotor del Programa de Ingeniería Eléctrica de la UAO como se muestra en el cuadro 13 y la figura 14.

Cuadro 12. Comparación económica del motor actual vs. Motor nuevo

CAPACIDAD-VELOCIDAD-POLOS	20HP-3600RPM-2	10HP-3600RPM-2
CARCASA	TEFC	TEFC
%DE CARGA	50	90
%EFF	86,1	91,3
COSTO DIFERENCIAL EN DOLARES		759
USO DE ENERGIA Kwh./ AÑO	51.962	44.134
COSTO DE ENERGIA DOLARES/AÑO	2.598	2.207

Cuadro 13. Análisis de ahorro de energía para el motor de 10HP con el software

EVAMOTOR

DATOS DE ENTRADA

Potencia Nominal del Motor (HP)	10
Tiempo de operación anual (h)	6000
Eficiencia del Motor de alta eficienc. (%)	91,3
Eficiencia del Motor de baja eficienc. (%)	87,7
Costo del motor de alta eficiencia (\$)	\$ 1.600.000,00
Costo del motor de baja eficiencia (\$)	\$ 0,00

Costo inicial de la Energía (\$/kWh)	240
Inflación anual de la Energía (%/año)	10
Impuestos (%)	0
Tasa de interés de descuento (%)	20
Capital invertido (diferencia de costos) (\$)	\$ 1.600.000,00
Vida útil (años)	15

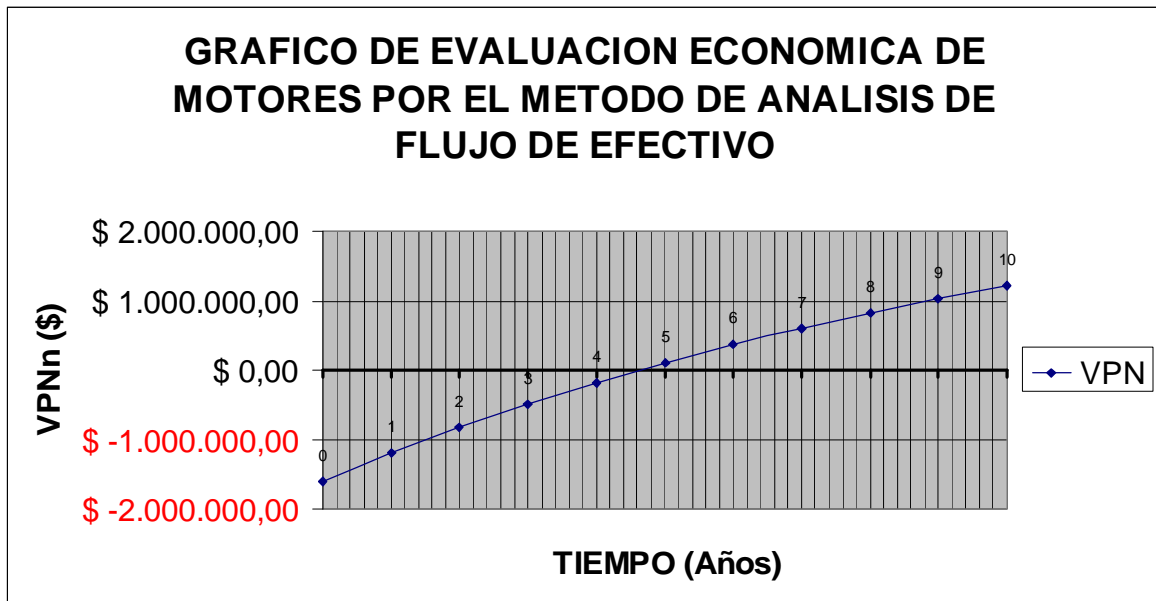
EVALUACION ECONOMICA COMPARATIVA DE DOS MOTORES (UNO DE ALTA Y OTRO DE BAJA EFICIENCIA)

VARIABLE \ AÑO	0	1	2	3	4	5	6
Costo de la Energía (Ke)		\$ 240,00	\$ 264,00	\$ 290,40	\$ 319,44	\$ 351,38	\$ 386,52
Ahorro Anual (Can)		\$ 482.984,78	\$ 531.283,26	\$ 584.411,59	\$ 642.852,75	\$ 707.138,02	\$ 777.851,83
Depreciación (Dep)		\$ 106.666,67	\$ 106.666,67	\$ 106.666,67	\$ 106.666,67	\$ 106.666,67	\$ 106.666,67
Ahorro sin Impuesto		\$ 376.318,12	\$ 424.616,60	\$ 477.744,92	\$ 536.186,08	\$ 600.471,36	\$ 671.185,16
Ahorro con Impuesto		\$ 376.318,12	\$ 424.616,60	\$ 477.744,92	\$ 536.186,08	\$ 600.471,36	\$ 671.185,16
Flujo de efectivo no descontado		\$ 482.984,78	\$ 531.283,26	\$ 584.411,59	\$ 642.852,75	\$ 707.138,02	\$ 777.851,83
Factor de descuento (FD)		0,83	0,69	0,58	0,48	0,40	0,33
Flujo de efectivo descontado		\$ 402.487,32	\$ 368.946,71	\$ 338.201,15	\$ 310.017,72	\$ 284.182,91	\$ 260.501,00
VPNn	\$ -1.600.000,00	\$ -1.197.512,68	\$ -828.565,97	\$ -490.364,82	\$ -180.347,10	\$ 103.835,82	\$ 364.336,82

Tiempo estimado de retorno de la inversión

4	11	23
Años	meses	Días

Figura 14. Análisis económico realizado para el motor de 10 HP.



En términos generales, la metodología aplicada a este trabajo inicio con la medición de las 3 subestaciones que abastecen de energía la Universidad Autónoma de Occidente, se realizó por medio de un analizador de calidad fluke 434 dentro del proceso de medición se tomaron datos como:

- § Tensiones.
- § Corrientes.
- § Potencia activa, potencia reactiva.
- § Factor de potencia.
- § Niveles de armónicos tanto de tensión como de corriente.
- § Desbalance entre líneas etc.

Obteniendo que dos de las 3 subestaciones tenían el 37% frente a un 26% de consumo, por lo tanto, el paso siguiente es el análisis de los motores que están asociados a las 2 subestaciones de mayor consumo para este proceso se tomaron datos como:

- § Tensiones.
- § Corrientes.
- § Potencia activa, potencia reactiva.
- § Factor de potencia.

§ Niveles de armónicos tanto de tensión como de corriente.

§ Desbalance entre líneas etc.

En este proceso se aplicó la herramienta estadística diagrama de Pareto con el fin de hallar los motores de mayor consumo que da como resultado 2 motores ubicados en la subestación 2 con las siguientes características mostradas en el cuadro 14:

Cuadro 14. Datos básicos de los motores para realizar control de calidad

BOMBA LIDER		BOMBA DE APOYO	
MARCA	US ELECTRICAL MOTORS	MARCA	AURORA PUMPS
MODELO		MODELO	341A
RPM	3525	RPM	3500
POTENCIA	7,5HP	POTENCIA	20HP
L amp	18.6 / 9.3	CORRIENTE	36,04 A
F amp	22.6 / 11.3	VOLTAGE	460 V
No DE FASES	3	No DE FASES	3
TENSION	250 – 480	CAUDAL	240 GPM
TIPO	UTE4	CABEZA	164 PIES/49,99M
CLASE	F	DIAMETRO DE SUCCION	2 PULG
FRAME	213JM	DIAMETRO DE DESCARGA	2,1/2 PULG

El siguiente proceso es realizar el estudio de calidad por medio del analizador de calidad HT PQA 824. Durante un periodo de 24 horas obteniendo datos como:

§ Tensiones.

§ Corrientes.

§ Potencia activa, potencia reactiva.

§ Niveles de armónicos tanto de tensión como de corriente.

§ Resistencia de línea.

De acuerdo a los datos obtenidos se toman los valores de la potencia y de corriente obtenidos en campo con el fin de aplicar los métodos de potencia equivalente y corriente equivalente, este proceso se realiza tomando el valor pico de potencia y de corriente que fue hallado en un periodo de una hora.

NOTA: Cabe decir que este proceso en este caso se logro realizar debido a que tanto la potencia como la corriente fueron constantes si el caso hubiese sido al contrario y el sistema tiene una variación muy amplia tanto para la potencia como para la corriente el intervalo tomado no puede ser de una hora sino del total de la muestra en este caso 24 horas.

Después de obtener la potencia equivalente y la corriente equivalente se necesita la resistencia para obtenerla se realiza un paro del equipo y se toma directamente de las bornas del motor, teniendo estos cálculos se procede a aplicar el método de separación de perdidas con el fin de saber cuanta potencia se pierde al interior de la maquina, hallar su eficiencia y factor de cargabilidad.

Para el caso de la bomba líder de 7.5HP su eficiencia es de un 92.4% y unas perdidas de 0.4529 KW y un factor de carga del 90%, y en el caso de la bomba de apoyo de 20HP su eficiencia es de un 87.7% y unas perdidas de 0.92641KW y un factor de carga del 45%.

Por lo tanto en este caso se recomienda el cambio del motor de apoyo de 20HP por un motor de 10HP por cargabilidad más no por niveles de eficiencia.

El paso a seguir es el análisis económico en este caso se utilizaron los software como, Moto Master Internacional y Evamotor de la Universidad Autónoma de Occidente; con las características obtenidas en pasos anteriores, el software nos arrojó una proyección de cuanto le cuesta a la Universidad Autónoma de

Occidente realizar el cambio del motor de 20HP por uno de 10HP ver cuadro 13, si la inversión inicial es de 1.600.000 la recuperación de la inversión sería en 5 años aproximadamente como lo muestra la figura 14.

7. CONCLUSIONES

CAPITULO 1 Se constato que el 50% del consumo de energía se encuentra asociado a los motores eléctricos, el proyecto de gestión de motores se justifica plenamente, en este sentido la realización del proyecto dirigido a la gestión de motores cobra importancia en función de identificar ahorros.

CAPITULO 2 En este capítulo se presenta de una forma clara el concepto de eficiencia y factor de potencia y los diversos factores que afectan estos parámetros.

CAPITULO 3 Se desarrollo una metodología para la gestión de motores eléctricos donde se utilizan herramientas estadísticas como el diagrama de Pareto para evaluar los motores de mayor consumo así mismo se presentan distintos métodos para hallar la potencia equivalente operando con cargas variables.

También se presenta el método de datos de placa y separación de pérdidas para evaluar la eficiencia de los motores.

CAPITULO 4 Se aplica la metodología propuesta a la UAO

- Se determinaron las áreas de mayor consumo por medio del diagrama de Pareto.
- Se determino que los motores de mayor consumo pertenecen a la subestación No 2.
- Se evaluó la eficiencia y la potencia de los motores de mayor consumo.
- Se utilizaron los métodos de potencia y corriente equivalente para calcular la eficiencia del motor.

- Se evaluó económicamente utilizando el software EVAMOTOR y se evaluó el comportamiento que tendría la conveniencia de reemplazar un motor de alta eficiencia.

CAPITULO 5 Se realizó el análisis económico utilizando los software internacional Motor Selección And Savings Analysis y EVAMOTOR teniendo en cuenta los datos de eficiencia ya calculados en el capítulo 4. El análisis económico da una recuperación de 4 años y medio si se reemplaza el motor de 20HP por un motor de 10HP de alta eficiencia.

Podemos concluir que la cargabilidad se utiliza para saber si la selección del equipo fue la correcta para su finalidad y que al hallar la eficiencia con ella podemos saber el costo de tener un equipo en funcionamiento.

8. RECOMENDACIONES

- § Se recomienda realizar un cambio de motor de 20HP a uno de 10HP de alta eficiencia, se sugiere un motor con una eficiencia de 91.3 al 90% de la carga actual y logrando una recuperación económica de 4 años y medio aproximadamente
- § Se recomienda realizar un mantenimiento a las estructuras físicas que componen las subestaciones ya que se encontraron partes sin la tornillería completa y las que ahí se encuentran en mal estado y esto puede ocasionar un peligro para el operador.
- Se recomienda colocar sistemas de iluminación apropiados y que cumplan con la normatividad en sótano de biblioteca y laboratorios donde están ubicados los controles y los accesos a las bombas de aguas residuales.
- Se recomienda colocar circuitos de alimentación a 110v dentro de los cuartos donde están ubicadas los controles para el manejo de las bombas con el fin de poder instalar de una manera más fácil los equipos de medición para futuros mantenimientos.
- Se recomienda realizar mantenimiento por lo menos 2 veces al año implementando el formato expuesto en el anexo L con el fin de llevar un historial de la máquina y poder tomar decisiones eficaces a la hora de evaluar la máquina

BIBLIOGRAFÍA

A. Almeida, F. Ferreira; J. Busch y A. Pierre. Comparative Analysis of IEEE 112-B and IEC 34-2 Efficiency Testing Standards Using Stray Load Losses in Low-Voltage Three-Phase, Cage Induction Motors. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol 38. No. 2. March/April 2002. A Wallace, A Von Jouanne, E. Wiedenbrug, E. Matheson, and J.

Douglas. A laboratory assessment of in-service and non-intrusive Motor efficiency testing methods". Electric Power Components and Systems, Vol. 29, pp 517- 529, 200.

DUGAN, Mc GRANAGHAN, Beaty. Electrical power Systems Quality. New York: Mc Graw-Hil, 1996.

QUISPE, Ciro Enrique. Curso tutorial un método práctico para evaluar en el sitio de operación la eficiencia de motores trifásicos de inducción. Director Grupo de Investigación en Energías GIEN, Programa de Ingeniería Eléctrica
Universidad Autónoma de Occidente

QUISPE, Ciro Enrique. Una Comparación de Metodologías Prácticas para Determinar la Eficiencia de Motores de Inducción en Sitio. Grupo de Investigación en Energías GIEN - UAO, Departamento de Energética y Mecánica
Universidad Autónoma de Occidente.

QUISPE, Ciro Enrique. Curso tutorial Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos. XII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines, Perú, Octubre 2005.

QUISPE Ciro Enrique; CASTRILLÓN, Rosaura y VIDAL, R Juan. Recomendaciones para la implementación de un programa integral de ahorro de energía en el sistema de motores eléctricos en la industria. Memorias de CIURRE 2006, Cali - Colombia, Noviembre 2006.

IEC. Standard IEC # 60034-2-1 Rotatory Electrical Machines part 2-1, Standard Methodes For Determiny Losses And Efficient From Tests. Switzerland 2007.

IEEE Power Engineering Society. IEEE Std 112TM-2004. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. USA, 2004.

Isagen, Primera edición de la publicación Línea productiva. Eficiencia de motores eléctricos. Enero de 2007. Artículo editado y enviado por Isagen a clientes.

NEMA, Standard Publications No. MG1-1993. Motors and Generators, Published by National Electrical Manufacturers Association, Washington (1993).

ANEXOS

Anexo A

Medición inicial y final subestación 1.

Screen: 02/03/2009 07:50:11 p.m.

Voltios/Amperios/Hz

	R	B	C	N
U _{rms}	272.4	273.1	274.8	0.9
U _{pk}	382.1	385.8	387.8	2.9
CF	1.40	1.41	1.41	OL
Hz	59.98			

	R	B	C	N
A _{rms}	432	414	433	0.2
A _{pk}	648	615	646	0.5
CF	1.50	1.49	1.49	OL

02/10/09 09:49:46 120V 60Hz 3Ø WVE ENS0160

PREV BACK NEXT PRINT USE

VOLTAJES Y CORRIENTES INICIALES

Screen: 02/03/2009 07:51:38 p.m.

Potencia y energía

	FULL	R	B	C	Total
kW		115.3	110.7	116.6	342.6
kVA		117.0	112.4	118.7	348.3
kVAR		20.2	19.8	22.0	62.4
PF		0.99	0.98	0.98	0.98
DPF		1.00	1.00	0.99	1.00
A _{rms}		429	411	431	

	R	B	C
U _{rms}	272.9	273.4	275.1

02/10/09 09:50:17 120V 60Hz 3Ø WVE ENS0160

PREV BACK NEXT PRINT USE

POTENCIA ACTIVA INICIAL

Screen 02/03/2009 07:55:12 p.m.

Potencia y energía				
	FULL			
	A	B	C	Total
kW	116.1	111.7	117.1	345.0
kVA	117.8	113.4	119.2	350.5
kVAR	(20.1	(19.6	(22.0	(62.1
PF	0.99	0.98	0.98	0.98
DPF	1.00	1.00	0.99	1.00
kWh	0.220	0.213	0.222	0.655
kVAh	0.224	0.216	0.226	0.666
kVARh	(0.039	(0.038	(0.042	(0.120
START 02/10/09 09:51:55 5 0:00:06				
PREV BACK NEXT PRINT USE				

POTENCIA APARENTE Y REACTIVA INICIAL POR HORA

Screen 02/03/2009 07:56:35 p.m.

Potencia y energía				
	FULL			
	A	B	C	Total
kW	109.8	101.7	104.2	315.7
kVA	111.6	103.4	106.7	321.8
kVAR	(19.9	(18.2	(22.9	(62.3
PF	0.98	0.98	0.98	0.98
DPF	1.00	1.00	0.99	1.00
Arms	405	375	385	
	A	B	C	
Urms	275.6	275.9	277.5	
02/11/09 08:20:53 120V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
PREV BACK NEXT PRINT USE				

POTENCIA ACTIVA FINAL

Screen 02/03/2009 07:56:52 p.m.

Potencia y energía				
	FULL			
	A	B	C	Total
kW	109.8	101.7	104.2	315.7
kVA	111.6	103.4	106.7	321.8
kVAR	(19.9	(18.2	(22.9	(62.3
PF	0.98	0.98	0.98	0.98
DPF	1.00	1.00	0.99	1.00
kWh	1653	1544	1620	4817
kVAh	1685	1583	1652	4924
kVARh	(153.7	(115.0	(205.1	(462.7
START 02/10/09 09:55:00 22:25:53				
PREV BACK NEXT PRINT USE				

POTENCIA APARENTE Y REACTIVA FINAL POR HORA

Anexo B

Medición inicial y final subestación 2.

Screen 02/03/2009 08:07:47 p.m.

Voltios/Amperios/Hz				
	A	B	C	N
U rms	273.5	270.3	270.7	0.3
U pk	384.9	380.4	381.7	0.9
CF	1.41	1.41	1.41	DL
Hz	60.02			
	A	B	C	N
A rms	409	396	377	2.9
A pk	586	571	546	4.7
CF	1.43	1.44	1.45	1.60
02/11/09 09:06:18 277V 60Hz 3Ø WYE FMS0160				
<div>PREV</div> <div>BACK</div> <div>NEXT</div> <div>PRINT</div> <div>USE</div>				

VOLTAJES Y CORRIENTES INICIALES

Screen 02/03/2009 08:03:18 p.m.

Potencia y energía				
	A	B	C	Total
kW	104.7	95.5	90.6	290.8
kVAR	112.7	105.9	101.5	320.3
kVAr	41.8	45.8	45.7	134.4
PF	0.93	0.90	0.89	0.91
DPF	0.93	0.90	0.89	0.91
A rms	410	390	373	
	A	B	C	
U rms	274.7	271.7	272.2	
02/11/09 09:06:43 277V 60Hz 3Ø WYE FMS0160				
<div>PREV</div> <div>BACK</div> <div>NEXT</div> <div>PRINT</div> <div>USE</div>				

POTENCIA ACTIVA INICIAL

Screen 02/03/2009 08:04:40 p.m.

Voltios/Amperios/Hz

24:31:29

	A	B	C	N
Vrms	274.7	272.0	272.4	0.5
Vpk	388.6	383.2	384.4	2.3
CF	1.41	1.41	1.41	OL
Hz	60.00			

	A	B	C	N
A rms	362	330	317	3.2
A pk	529	500	475	4.9
CF	1.46	1.52	1.50	1.52

02/12/09 09:40:01 277V 60Hz 30 MVE EN50160

PREV BACK NEXT PRINT USE

VOLTAJES Y CORRIENTES FINALES

Screen 11/3/2009 02:20:37 p.m.

Potencia y energía

FULL 23:39:43

	A	B	C	Total
kW	88.2	86.1	81.7	255.9
kVA	94.9	93.6	90.9	279.4
kVAR	35.1	36.7	39.9	112.1
PF	0.93	0.92	0.90	0.92
DPF	0.93	0.92	0.90	0.92

kWh	1684	1604	1467	4756
kVAh	1811	1763	1624	5204
kVAh	661.2	725.2	691.5	2104

START 10/03/09 00:52:09 23:39:42

PREV BACK NEXT PRINT USE

POTENCIA APARENTE, REACTIVA Y ACTIVA FINAL POR HORA

Anexo C

Medición inicial y final de la subestación 3.

Screen 02/03/2009 08:07:15 p.m.

Voltios/Amperios/Hz			
	AB	BC	CA
V _{rms}	480.0	478.6	476.2
V _{pk}	689.6	689.1	684.0
CF	1.44	1.44	1.44
Hz	59.96		
	A	B	C
A _{rms}	365	386	354
A _{pk}	524	555	523
CF	1.44	1.44	1.48

02/10/09 09:16:19 480V 60Hz 3Ø DELTA ENS0160

PREV BACK NEXT PRINT USE

VOLTAGES Y CORRIENTES INICIALES

Screen 02/03/2009 08:08:13 p.m.

Potencia y energía

FULL Φ 0:00:05

	A	B	C	Total
kW				271.0
kVA				305.0
kVAR				140.0
PF				0.89
DPF				0.89
A _{rms}	364	386	353	
	AB	BC	CA	
V _{rms}	480.1	478.7	476.1	

02/10/09 09:16:44 480V 60Hz 3Ø DELTA ENS0160

PREV BACK NEXT PRINT USE

POTENCIA ACTIVA INICIAL

Screen: 02/03/2009 08:10:58 p.m.

Potencia y energía	
	Total
kW	268.7
kVA	299.5
kVAR	132.4
PF	0.90
DPF	0.90
kWh	3420
kVAh	4969
kVARh	2270
START 02/18/09 09:19:01	
23:52:41	
PREV	BACK
NEXT	PRINT
USE	

POTENCIA APARENTE, REACTIVA Y ACTIVA FINAL POR HORA

Anexo D

Medición bomba líder

Screen: 20/3/2009 02:43:48 p.m.

Potencia y energía				
FULL		24:35:54		
A	B	C	Total	
				kW
				5.07
				kVA
				6.02
				kVAR
				3.26
				PF
				0.84
				DPF
				0.84
A rms	7.3	6.9	7.5	
AB		BC		CA
U rms	476.2	480.5	481.2	
18/03/09 09:16:54 480V 60Hz 3Ø DELTA ENS0160				
PREV		BACK		NEXT
		PRINT		USE

POTENCIA FINAL

Potencia y energía	
FULL	21:36:07
A	B
C	Total
kW	
0.00	
kVA	
0.01	
kVAR	
0.01	
PF	

DPF	
0.99	
kWh	
104.9	
kVAh	
126.4	
kVARh	
73.05	
START 17/03/09 08:41:00	
21:36:07	
PREV	BACK
NEXT	PRINT
USE	

POTENCIA CONSUMIDA POR HORA

Anexo E

Medición bomba de apoyo

Screen: 20/3/2009 02:48:55 p.m.

Potencia y energía				
FULL		23:21:55		
	A	B	C	Total
kW				7.66
kVA				10.17
kVAR				6.69
PF				0.75
DPF				0.75
Arms	13.1	11.2	11.7	
	AB	BC	CA	
Urms	489.7	486.4	489.8	
19/03/09 08:47:55 480V 60Hz 3.8 DELTA ENS0160				
<div>PREV</div> <div>BACK</div> <div>NEXT</div> <div>PRINT</div> <div>USE</div>				

Screen: 20/3/2009 02:50:54 p.m.

Potencia y energía				
FULL		23:30:19		
	A	B	C	Total
kW				7.45
kVA				9.91
kVAR				6.53
PF				0.75
DPF				0.75
kWh				175.2
kVAh				231.3
kVARh				150.7
START 19/03/09 09:26:00 23:30:19				
<div>PREV</div> <div>BACK</div> <div>NEXT</div> <div>PRINT</div> <div>USE</div>				

Anexo F

Medición bomba lapicero



POTENCIA FINAL



Anexo G

Medición bomba 1 (2.5hp) sótano biblioteca ala sur

Screen 30/3/2009 01:33:55 p.m.

Voltios/Amperios/Hz

0:05:11

	AB	BC	CA
V _{rms}	215.6	214.6	215.8
V _{pk}	307.2	304.9	307.0
CF	1.42	1.42	1.42
Hz	60.01		

	A	B	C
A _{rms}	15.0	14.1	13.9
A _{pk}	21.9	20.2	20.6
CF	1.46	1.43	1.49

25/03/09 09:10:51 480V 60Hz 3Ø DELTA EN50160

PREV BACK NEXT PRINT USE

VOLTAGES Y CORRIENTES INICIALES

Screen 30/3/2009 01:36:36 p.m.

Potencia y energía

FULL 24:46:16

	A	B	C	Total
kW				0.00
kVA				0.02
kVAR				0.02
PF				---
DPF				---
kWh				5.652
kVAh				7.286
kVARh				4.367

START 25/03/09 09:14:00 24:46:15

PREV BACK NEXT PRINT USE

Anexo H

Medición bomba 2 (2.5hp) sótano biblioteca ala sur

Screen 30/3/2009 01:49:41 p.m.

Voltios/Amperios/Hz			
	AB	BC	CA
Vrms	214.1	212.4	213.6
Vpk	304.7	303.3	304.0
CF	1.42	1.43	1.42
Hz	59.94		
	A	B	C
Arms	16.7	16.4	15.8
Apk	24.2	23.6	23.0
CF	1.45	1.44	1.46
27/03/09 14:57:39 480V 60Hz 3Ø DELTA EN50160			
PREV BACK NEXT PRINT			

Screen 30/3/2009 01:48:23 p.m.



Potencia y energía

FULL



28:39:35



0.00



0.00



0.00

A

B

C

Total

kW

0.00

kVA

0.01

kVAR



0.01

PF

--.--

DPF

--.--

kWh

0.133

kVAh

0.494

kVARh



0.413

START 26/03/09 10:16:00



28:39:35

PREV

BACK

NEXT

PRINT

USE



POTENCIA FINAL CONSUMIDA POR HORA

Anexo I

Medición bomba 3 (2.0hp) sótano laboratorios a la norte

Screen 20/4/2009 10:24:35 a.m.

Voltios/Amperios/Hz

0:00:02

	AB	BC	CA
Vrms	213.7	215.0	215.1
Vpk	301.4	303.0	302.8
CF	1.41	1.41	1.41
Hz	59.97		

	A	B	C
Arms	5.1	4.8	5.1
Apk	7.5	7.1	7.4
CF	1.45	1.47	1.45

02/04/09 08:39:34 480V 60Hz 3Ø DELTA EN50160

PREV BACK NEXT PRINT USE

VOLTAGES Y CORRIENTES INICIALES

Screen 20/4/2009 10:13:19 a.m.

Potencia y energía

FULL 13:33:53

	A	B	C	Total
kW				- 0.00
kVA				0.00
kVAR				0.00
PF				---
DPF				---
kWh				5.932
kVAh				8.739
kVARh				6.337

START 01/04/09 10:13:00 13:33:52

PREV BACK NEXT PRINT USE

POTENCIA FINAL CONSUMIDA POR HORA

Anexo J

Medición bomba 4 (2.0hp) sótano aulas 1

Screen 27/4/2009 09:11:43 a.m.

Voltios/Amperios/Hz			
	AB	BC	CA
Vrms	457.7	456.6	459.6
Vpk	648.2	647.3	651.3
CF	1.42	1.42	1.42
Hz	59.96		
	A	B	C
Arms	4.0	4.1	4.2
Apk	5.6	5.7	6.1
CF	1.41	1.40	1.43
23/04/09 08:43:31 480V 60Hz 3Ø DELTA EN50160			
PREV BACK NEXT PRINT USE			

VOLTAGES Y CORRIENTES INICIALES

Screen 27/4/2009 09:13:45 a.m.




Potencia y energía			
	A	B	C
FULL 30:00:00			
kW			0.01
kVA			0.04
kVAR			0.04
PF			0.13
DPF			---
kWh			0.456
kVAh			1.691
kVARh			1.507
START 23/04/09 08:46:00 29:59:59			
PREV BACK NEXT PRINT USE			


POTENCIA FINAL CONSUMIDA POR HORA

Anexo K

Características básicas del analizador de calidad fluke 434

CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA

Entradas de tensión	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas en continua
 Tensión máxima de entrada	1000 Vrms
 Rango de tensión nominal	50...500 V interna dividida en tres rangos 500 V, 250 V y 125 V
 Tensión de pico máxima	6 kV
Impedancia de entrada	4 MΩ // 5 pF
Ancho de banda	> 10 kHz, hasta 100 kHz para visualización de transitorios
Factor de escala	1:1, 10:1, 100:1, 1000:1 y variable

Entradas de corriente	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas en continua
Tipo	Transformador de corriente de pinza con salida mV
 Rango de entrada nominal	0 - ± 5,625 pico de tensión, onda sinusoidal de 0 - 3,97 Vrms
Rango	1 ... 400 Arms con pinzas incluidas (I400S) 0,1 ... 3000 Arms con pinzas opcionales
Impedancia de entrada	50 kΩ
Ancho de banda	>10 kHz
Factor de escala	0,1, 1, 10, 100, 1000 mV/A, variable, i5s e i430flex

Frecuencia nominal	40 ... 70 Hz
Sistema de muestreo	
Resolución	Convertidor de analógico a digital de 16 bits en 8 canales
Velocidad máxima de muestreo	200 kS/s en cada canal simultáneamente
Muestreo RMS	5000 muestras en $10/12^2$ ciclos conforme a la norma IEC 61000-4-30
Sincronización PLL	4096 muestras en $10/12^2$ ciclos conforme a la norma IEC 61000-4-7

Declaración de conformidad

para

Fluke 434/435

Fabricante

Fluke Industrial B.V.

Lelyweg 14

7602 EA Almelo

Países Bajos

Declaración de conformidad

Los resultados de las pruebas llevadas a cabo según las normas adecuadas concluyen
que el producto cumple con:

la Directiva 89/336/CEE relativa a la compatibilidad electromagnética

la directiva 73/23/CEE relativa a baja tensión

Pruebas de muestras

Normas utilizadas.

EN 61010-1, 2ª edición

Requisitos de seguridad para equipos eléctricos de medida, control
y uso en laboratorio

EN 61326 2002

Equipos eléctricos para
el control de las medidas y uso en laboratorio
Requisitos EMC

Las pruebas se han realizado en una configuración normal.

Esta conformidad viene indicada por el símbolo **CE**, que significa Conformidad europea.

Anexo L

FORMATO DE DATOS BÁSICOS PARA MANTENIMIENTO EN MAQUINAS

FORMATO DE MANTENIMIENTO PARA MAQUINAS					
MANTENIMIENTO No					
NOMBRE:				FECHA:	
MAQUINA:				MODELO:	
UBICACIÓN:				CONEXIÓN:	
	FASE A	FASE B	FASE C	NEUTRO	TIERRA
TENSIONES					
CORRIENTES					
RESISTENCIA					
ARMONICOS					
RPM:					
T° (°C):					
POTENCIA (HP):					
FRAME:					
OBSERVACIONES:					